

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A**  
**ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

# **NÁVRH KONSTRUKCE VRTAČKY PRO PLOŠNÉ SPOJE**

DESIGN OF PRINTED CIRCUIT BORING MACHINE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**PAVEL VONDRÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. RADIM BLECHA, Ph.D.**

BRNO 2009



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE****Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je ukázat možné konstrukční řešení počítačem řízené vrtačky desek plošných spojů. Práce popisuje konstrukci rámu, lineárního vedení a posuvového mechanismu. Dále jsou vybrány vhodné motory, jejich řízení a vřeteno stroje. Na závěr je provedena kalkulace výsledné ceny popisované vrtačky. Součástí práce je i kompletní výkresová dokumentace.

**Klíčová slova**

Vrtačka, CNC, konstrukce, lineární vedení, pohybový šroub, krokový motor, plošný spoj, DPS, frézovací motor

**Abstract**

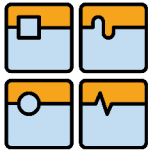
The aim of this bachelor thesis is to show possible constructional solution of CNC boring machine. The design describes construction of frame, linear motion system and feedworks. Then are chosen suitable motors, their operating and machine spindle. In conclusion is made costing of final price of described boring machine. The part of the thesis is also a design documentation.

**Keywords**

Boring machine, CNC, design, linear motion system, motion screw, stepping motor, printed circuit, PCB, milling motor

**Bibliografická citace**

VONDRÁK, P. *Návrh konstrukce vrtačky pro plošné spoje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 37s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Návrh konstrukce vrtačky pro plošné spoje* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radima Blechy, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 25. května 2009

---

vlastnoruční podpis autora



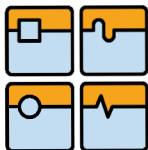


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

### PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Radimu Blechovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování této bakalářské práce.



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE****OBSAH**

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>KONSTRUKCE VRTAČKY.....</b>	<b>8</b>
2.1	Koncepce stroje.....	8
2.2	Rám.....	8
2.3	Lineární vedení.....	10
2.4	Lineární pohybový mechanismus.....	12
2.5	Vřeteno.....	13
2.6	Krytování stroje.....	14
2.7	Upínání DPS.....	15
<b>3</b>	<b>POHONY A ŘÍZENÍ.....</b>	<b>15</b>
3.1	Motory.....	15
3.2	Řízení.....	19
3.3	Elektroinstalace.....	23
3.4	Řídící software.....	24
<b>4</b>	<b>PARAMETRY VRTAČKY.....</b>	<b>26</b>
4.1	Určení základních parametrů.....	26
4.2	Parametry vrtačky DPS.....	27
<b>5</b>	<b>CENOVÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>36</b>





## 1 ÚVOD

Plošný spoj (také deska plošných spojů – DPS) najdeme v současné době téměř v každém elektrickém přístroji, ať už se jedná o počítač, televizi, pračku, vrtačku nebo i automobil. Používá se pro mechanické připevnění a současně pro elektricky vodivé propojení elektronických součástek. Součástky jsou propojeny měděnými cestami vyleptanými z folie nalepené na izolační laminátové desce. Jednotlivé vývody součástek jsou obvykle prostrčeny otvory v DPS a na opačné straně, než je součástka, jsou připájeny ke spojům, vytvořených vrstvou mědi. V současnosti se při velkosériové výrobě velmi často používá technologie povrchové montáže, kdy jsou součástky připájeny na stejné straně DPS za kontaktní plošky, jež mají na svém povrchu.

Základem DPS je nejčastěji laminát ze skelné tkaniny sycený epoxidovou pryskyřicí. Z jedné nebo obou stran je nalepena měděná folie. Tloušťka celé desky bývá 1 až 1,8 mm. V ČR je tento základ známý pod pojmem „CUPREXTIT“. Býval to obchodní název materiálu vyráběného podnikem KABLO Bratislava.

Postup výroby DPS:

Návrh plošného spoje

### Vyvrátání otvorů

Očištění povrchu měděné folie odmaštěním a obroušením

Zakrytí motivu plošného spoje leptuvzdornou vrstvou

Vyleptání nepotřebné mědi

Odstranění leptuvzdorné vrstvy

Nanesení krycích a ochranných vrstev, potisk desky

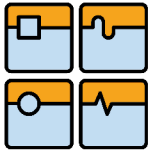
Mechanické opracování **frézováním**, stříháním, řezáním

A právě k vyvrátání otvorů pro vývody elektronických součástek bude sloužit navrhovaná vrtačka. Po vytvoření motivu plošného spoje některým grafickým návrhovým systémem (např. FORMICA) jsou určeny souřadnice vrtaných otvorů a ty jsou upraveny pro řídicí systém vrtačky. Po upnutí desky na stůl vrtačky může být započato vrtání jednotlivých otvorů. Takováto vrtačka je vhodná pro malosériovou nebo kusovou výrobu. Po upnutí vhodného nástroje lze desky i obrábět, např. různé konstrukční otvory či zaoblení. Při použití gravírovací frézy lze vyrábět prototypy DPS suchou cestou, kdy se přebytečná měď odstraní odfrézováním.

Maximální velikost plošného spoje má být dle zadání 200x300mm a velikost vrtáku nejvíce 2mm.

„Mnoho dá člověku svět, ale když chce člověk dát něco světu,  
musí sedět na svém malém poli a dříť jako nádeník.“

Karel Čapek



## 2 KONSTRUKCE VRTAČKY

### 2.1 Koncepce stroje

Celá konstrukce vrtačky desek plošných spojů (DPS) je stejná jako konstrukce souřadnicových vrtaček a je velmi podobná konstrukcím malých horizontálních frézek. Jedná se v podstatě o stejný stroj, vrtačka však může být méně robustní z důvodu působení minimálních řezných sil. Nejprve je nutné zvolit uspořádání všech důležitých prvků stroje. Mezi ověřená a používaná uspořádání patří: stolová konstrukce a portálová s pevným nebo posuvným stolem.

#### **Stolová konstrukce (obr. 1.)**

Jedná se o uspořádání, kdy se pracovní stůl pohybuje ve dvou osách horizontální roviny a vřeteno v rovině vertikální. Nevýhodou tohoto řešení je poměrně složitý a těžký stůl, musí na něm být připevněn pohon jedné osy.

#### **Portálová konstrukce s pevným stolem (obr. 2.)**

Základem je stůl, nad kterým se pohybuje portál. Jde o docela jednoduchou konstrukci, ale je vyžadována velká tuhost podélného vedení, které nese veškerou hmotu portálu.

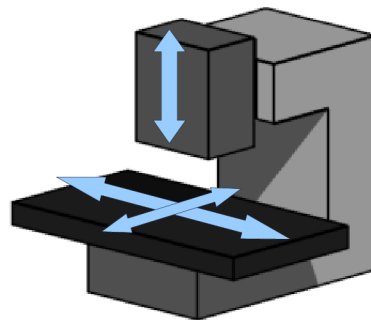
#### **Portálová konstrukce s posuvným stolem (obr. 3.)**

Je to velice podobná konstrukce jako předchozí. Rozdíl je v tom, že zde je portál pevný a pod ním podjíždí stůl. Opět se jedná o jednoduchou konstrukci, a na vrtačku DPS vhodnou. Stůl je lehký a pohony horizontálních os nepřispívají svou hmotou k zatížení stroje, protože jsou připevněny přímo na rámu.

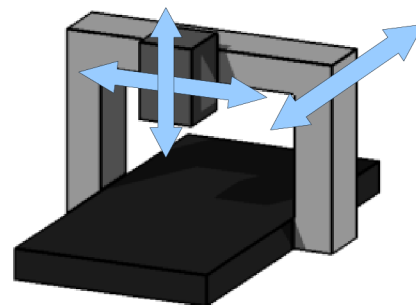
Jako nejvhodnější koncepce byla zvolena portálová konstrukce s posuvným stolem. Na (obr. 3.) je též znázorněno označení jednotlivých os.

### 2.2 Rám

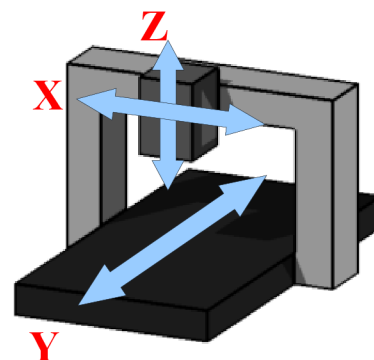
Na jakost obrobenej plochy a použitelný výkon má velkou mírou vliv tuhost rámu a vodících ploch, s tím je úzce spojeno nastavení polohy nástroj – obrobek. Proto rám musí být navrhnout tak, aby dokázal pohltit všechny zatěžující síly s minimální deformací



Obr. 1.: Stolová konstrukce



Obr. 2.: Portál s pevným stolem



Obr. 3.: Portál s posuvným stolem



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

a byl schopen utlumit chvění. Existuje několik typů rámu, které tyto požadavky v dostatečné míře splňují.

**Litý rám**

odlitek bude mít velmi dobré schopnosti vibrace pohltit, bude i dostatečně tuhý a pevný. Může být vyhotoven buď z litiny nebo slitin hliníku. Nevýhodou je jeho cena, hlavně cena výroby forem a následného lití a tepelného zpracování, kvůli snížení vnitřního pnutí.

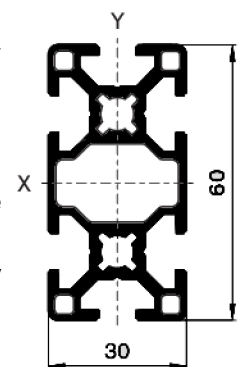
**Svařovaný rám**

toto je levná a výhodná konstrukce. Používají se ocelové duté profily ze svařitelných ocelí, nejčastěji 11 353. Rám je lehký, snadno zhotovitelný, ale opět vzniká problém vnitřního pnutí. Proto je vhodné svařenec tepelně zpracovávat a poté je nutné obrobit všechny funkční plochy.

**Montovaný z profilů**

jde v podstatě o stejnou konstrukci jako je rám svařovaný. Namísto svarů se používají rozebiratelné spojovací prvky - šrouby, matice atd. Profily jsou nejčastěji duralové, ale může být využito i kombinace s ocelovými. Takovýto rám je velice jednoduchý na výrobu, při vhodné volbě konstrukce se nemusejí jednotlivé části nijak obrábět a stačí přesný řez od dodavatele profilů.

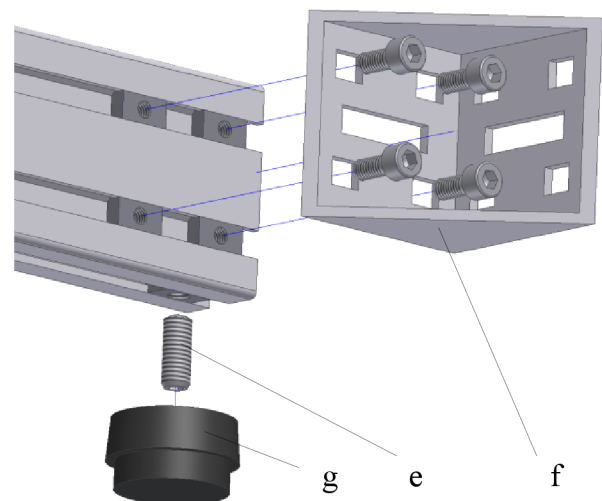
Základna rámu je smontována z hliníkových profilů 30x60 Bosch Rexroth (obr. 4.). Ke spojení těchto profilů jsou použity hliníkové úhelníky téhož výrobce. Tento způsob spojení je velmi pevný a tuhý. Do matic nasunutých v drážkách profilů jsou našroubovány stavěcí šrouby a na ně potom ocelové podstavce s tlumící pryží (obr. 5.). Tyto nohy jsou výškově stavitelné a je nutné po usazení na pracovní stůl vyrovnat celou vrtačku do vodováhy. Na základnu jsou dále přišroubovány masivní sloupy a ty jsou v horní a střední části spojeny vzpěrami. Ve sloupech jsou vyrobeny otvory pro usazení vodících tyčí a pohybového šroubu osy X. Součástí rámu jsou také desky sloužící k uchycení krokových motorů. Holý rám je zobrazen na (obr. 6.)



Obr. 4.: Profil 30x60 [1]

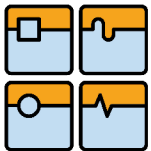
Popis (obr. 4.) a (obr. 5.)

- a) základna- hliníkové profily 30x60
- b) sloupy
- c) vzpěry
- d) uchycení motorů
- e) stavěcí šroub M8x20, ČSN 02 1187
- f) spojení profilů - úhelníky 60/60
- g) ocelové podstavce s tlumící pryží
- h) profilová krytka 30x60

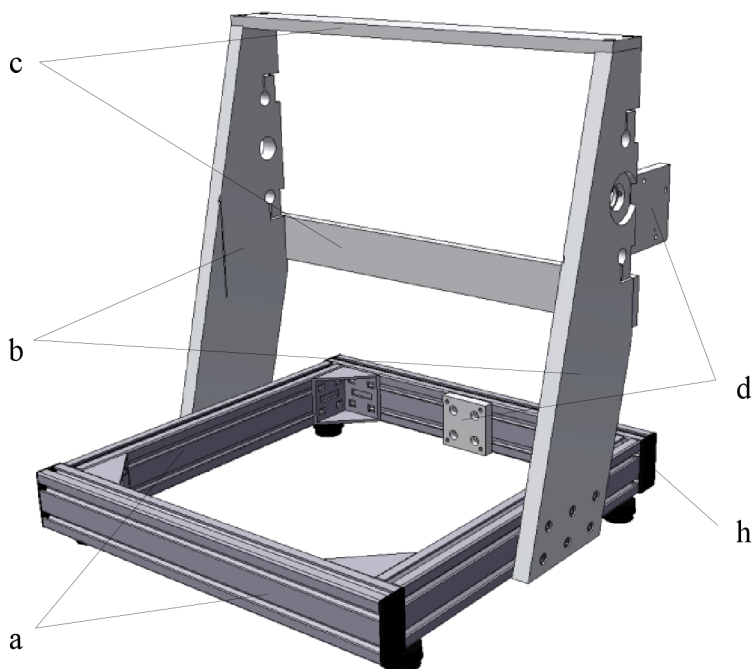


Obr. 5.: Spojení profilů a připojení podstavce





## 2.3 Lineární vedení



Obr. 6.: Rám vrtačky

Lineární vedení umožňuje pohyb stolu a vřeteníku v jednotlivých osách. Při volbě vhodné konstrukce vedení se musí vzít v úvahu zatížení stroje, rychlost pohybu, délku zdvihu a požadovanou přesnost v uložení. Při vrtání DPS vznikají pouze malé řezné síly, které mají v horizontální rovině zanedbatelný charakter a jediná významnější síla je axiální, působící na vřeteno stroje. Další zatížení vedení je způsobeno hmotností pohybujících se částí, v úvahu musíme vzít jak gravitační zrychlení, tak zrychlení způsobené rozjezdem a brzdě-

ním vřeteníku. Na trhu je momentálně dostupno několik druhů vedení, které se liší svojí konstrukcí, vlastnostmi a oblastí použití.

### **Vodící tyče s kluznými pouzdry** (obr. 7.)

Tyče jsou ocelové, povrchově kalené, pouzdra jsou vyrobena z plastů (POM, PETP, aj.), vedení má dobré kluzné vlastnosti, omezený zdvih, nízkou cenu, vyrábí se v několika velikostech podle předpokládaného zatížení.

### **Vodící tyče s kuličkovými pouzdry** (obr. 8.)

Jedná se o strojní díly určené pro navrhování jednoduchých a hospodárných lineárních vedení. Jejich hlavními přednostmi jsou malé prostorové nároky, velká životnost a spolehlivost, přesnost chodu vyšší než 0,05 mm. V ložisku jsou zabudována dvoubřítá těsnění, která zabraňují znečištění maziva, a tím je možno prodloužit domazávací cyklus, popřípadě ložisko používat jako bezúdržbové. [3]

### **Vodící tyče podepřené** (obr. 9.)

Jedná se o vylepšenou variantu předchozích dvou řešení, vodící tyč je z jedné strany podepřena, vedení má vyšší únosnost při zachování stejných rozměrů, má neomezený zdvih, cena je přibližně trojnásobná

### **Vodící kolejnice s rolnami** (obr. 10.)

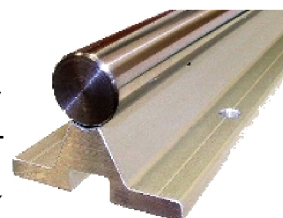
Lineární vodící systémy s vodícími rolnami jsou systémy, která nabízí úsporná řešení většiny lineárních posuvů v provedení vnějším a vnitřním. Kolejnice jsou vyrobeny z protlačovaného eloxovaného hliníkového profilu, do kterého jsou zalisovány dvě broušené povrchově kalené a chromované vodící tyče v toleranci h7. Vozík je složen z desky z eloxovaného



Obr. 7.: Kluzné vedení [2]



Obr. 8.: Kuličkové pouzdro [4]



Obr. 9.: Podepřená vodící tyč [5]

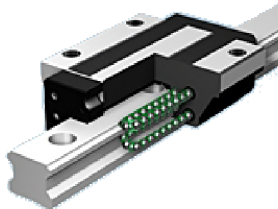




## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

hliníku, a z vodících roln s klínovou drážkou pod úhlem  $120^\circ$  na vnějším průměru. Rolny jsou na excentrickém nebo a na centrickém čepu. [6]

**Vodící kolejnice s oběhovými kuličkami (obr. 11.)**



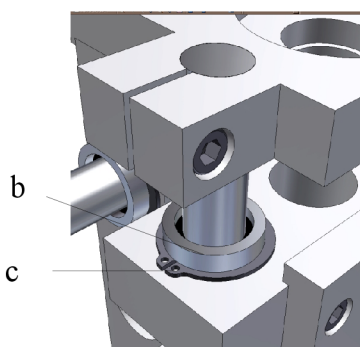
Obr. 11.: Vedení s oběhovými kuličkami [8]

Po kolejnici se odvalují ocelové kuličky, které obíhají ve vozíku, nejmodernější běžně používaný způsob uložení, má velmi dobré vlastnosti ve všech ohledech, cena tohoto řešení je však dost vysoká

Na konstrukci vrtačky bylo zvoleno vedení pomocí ocelových tyčí s kuličkovými pouzdry. Pro vrtačku DPS se jedná o dostatečně tuhé vedení. Má malý odpor proti pohybu a je cenově přijatelné. Uchytení vodících tyčí osy X je přímo součástí rámu. Uchytení tyčí osy Y (obr. 12.) je vyrobeno z duralu a přišroubováno v drážkách profilů tvořících základnu rámu. Vedení osy Z tvoří jeden celek s vozíkem osy X (obr. 13.). Kuličková pouzdra jsou ve vozíku upevněna pomocí pojistných kroužků (obr. 14.).

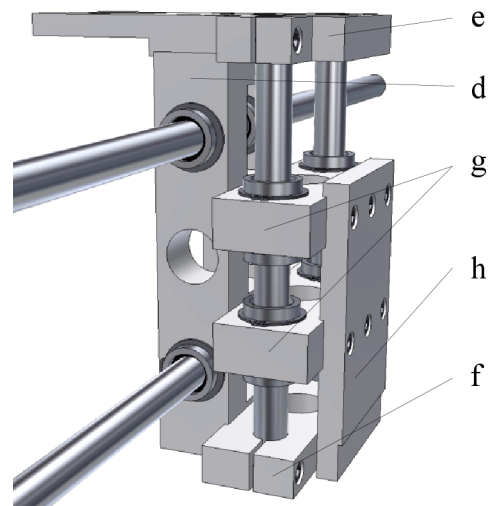
Popis (obr. 12.), (obr. 13.) a (obr. 14.)

- a) vodící tyč typ W, průměr 16mm
- b) kuličkové pouzdro UBM uzavřené a oboustranně utěsněné, průměr 16mm
- c) pojistný kroužek  $\varnothing 26$  ČSN 02 2930
- d) vozík osy X

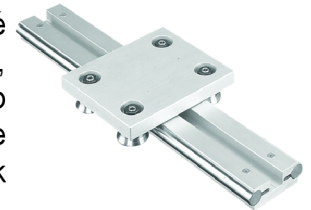


Obr. 14.: Detail uchycení tyče a kuličkového pouzdra

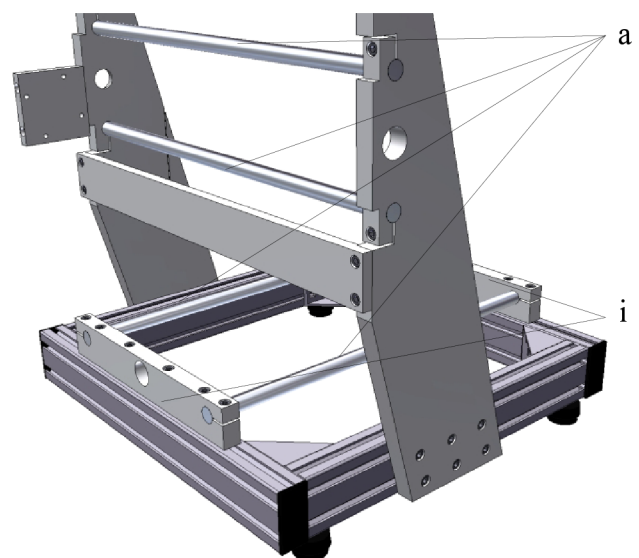
- e) uchycení tyčí Z
- f) uchycení tyčí Z
- g) vozík osy Z
- h) stůl osy Z
- i) uchycení tyčí Y



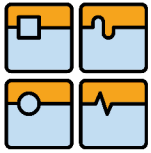
Obr. 13.: Vedení osy X a Z



Obr. 10.: Vedení s rolnami [7]



Obr. 12.: Uchytení vedení osy X a Y k rámu



## 2.4 Lineární pohybový mechanismus

Lineární pohybový mechanismus zajišťuje posuv vozíků po lineárním vedení. Může být realizován pomocí lineárních hydromotorů, lineárních elektromotorů nebo pomocí převodu rotačního pohybu na přímočarý šroubem.

*Pohybové šrouby a matice jsou běžně používány pro převod rotačního pohybu na lineární. Jestliže je od nich požadována velká přesnost a dlouhá životnost, je třeba zvolit vhodný profil šroubu a materiál pro šroub a matici. Konstruktivním uspořádáním lze omezit mechanické vůle a zvýšit tuhost zařízení.[9]*

**Trapézový šroub** (obr. 15.)

*šroub a odpovídající matice z plastu mají malé tření a velkou účinnost převodu mechanické energie. Také jejich životnost je dobrá. K dispozici jsou různé konstrukční varianty šroubů i matic. Lze použít speciální maziva nebo povlak teflonu pro aplikace bez maziva, s předepnutou maticí pro vyloučení mechanických vůlí (předepnutí může být nastavitelné) a na výběr jsou i matice ze speciálních materiálů. [9]*



Obr. 15.: Trapézový šroub a matice [11]

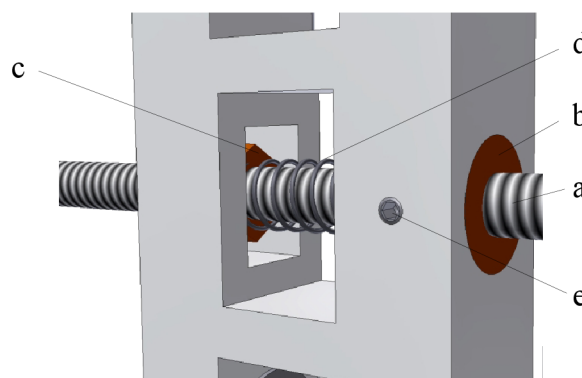


Obr. 16.: Kuličkový šroub a matice [12]

**Kuličkový šroub** (obr. 16.)

*princip je založen na odvalování kuliček vložených do závitu mezi maticí a šroubem. Pro vyšší únosnost je používán gotický profil závitu, který zajišťuje optimální stykový úhel mezi kuličkou a boky závitu. Díky vysoké účinnosti, malému opotřebení a oteplení, možnosti vymezení vůlí i předepnutí je to v současnosti nejpoužívanější mechanismus ve stavbě obráběcích strojů sloužící pro přímočarý posuv nástroje i obrobku. I kuličkový šroub a matice mají nevýhody. Protože je délka matice omezená, je nutné vyjmutí kuliček ze závitu a jejich opětovné zavedení na začátek závitu v matici. Řešení převáděčů vyžaduje zvládnutí spousty konstrukčních problémů, což má za cíl potlačení zdroje vibrací působených převáděním kuliček. [10]*

Na vrtačce budou použity ocelové trapézové šrouby v kombinaci s bronzovými maticemi. Pro osy X a Y budou pro každý šroub použity dvě matice. Kruhová matice, která bude pevně uchycena k vozíku (zajištěna stavěcím šroubem) a šestihřanná, která se může posouvat, ale je zajištěna proti pootočení. Mezi maticemi je uložena pružina, která posuvnou matici odtlačuje a tím vymezuje axiální vůli (obr. 17.).



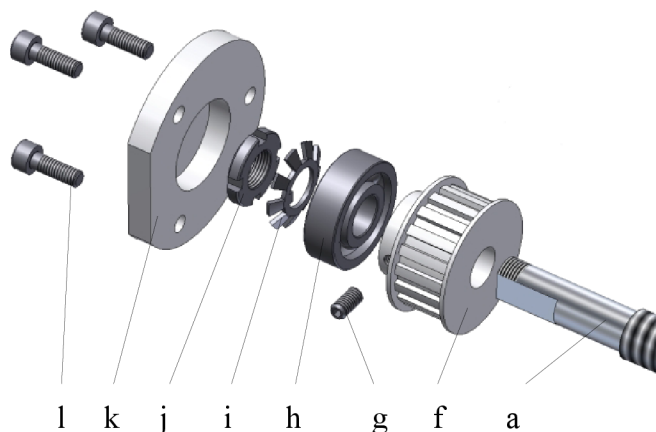
Obr. 17.: Uložení matic pohybového šroubu



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pružina musí vyvodit takovou sílu, aby byla vůle dostatečně vymezena, ale síla nesmí být natolik velká, aby výrazně nezvyšovala tření v závitě. Zvolená pružina působí na matice silou 25N (viz. str. 15.). Osa Z má pouze jednu matici, axiální vůle je vymezena vlastní hmotností vozíku a vřetena.

Pohybové šrouby jsou uloženy v jednořadých kuličkových ložiskách oboustranně zakrytovaných. Axiální vůle použitých ložisek je 0,06 mm. Jedno z ložisek je pevně uchyceno k rámu pomocí krycího víčka, které je opřeno o vnější kroužek ložiska. Šrouby víčka musejí být utahovány postupně a rovnoměrně. Toto ložisko je na pohybovém šroubu zajištěno KM maticí s příslušnou podložkou (obr. 18.). Druhé ložisko je v rámu uloženo volně a na šroubu zajištěno pojistným kroužkem. Pohybové šrouby os X a Y jsou uloženy stejným způsobem. U osy Z není použita KM matice, k vymezení vůle dochází vlastní vahou vřetena a proto jsou obě ložiska zajištěna pojistnými kroužky.



Obr. 18.: Uložení pohybového šroubu osy X

Popis (obr. 17.) a (obr. 18.)

- a) trapézový šroub válcovaný, Tr 12x3
- b) trapézová matice kruhová, MR-Tr 12x3 BZ
- c) trapézová matice šestihranná, MS-Tr 12x3 BZ
- d) pružina  $d=1,25$ ,  $L_0=40,5$ ,  $D=16$ ,  $k=1,7\text{N/mm}$
- e) stavěcí šroub M6x8, ČSN 02 1191
- f) ozubená řemenice 21 T5-18, 18 zubů, rozteč 5mm, šířka řemenu 10mm
- g) stavěcí šroub M4x8, ČSN 02 1187
- h) jednořadé kuličkové ložisko SKF 6000-2Z
- i) pojistná podložka MB 0, ČSN 02 3640
- j) pojistná matice KM 0, ČSN 02 3630
- k) krycí víčko osy X
- l) šroub M4x12, ČSN 02 1143 A

## 2.5 Vřeteno

Při vrtání děr do cuprexitu (sklolaminát s tenkou vrstvou mědi) vznikají malé řezné síly. Proto nejsou požadavky na uložení vřetena nijak vysoké. Jako vřeteno bude použit malý frézovací motor KRESS FME800 (obr. 19.) o max. výkonu 420W, který lze uchytit do objímky o průměru 43mm. Motor má na těle umístěn ovladač plynulé změny otáček a také aretaci vypínače. Největší vrtané díry budou mít průměr 2mm. Používat se budou spirálové vrtáky z wolfram-vanadové oceli s válcovou stopkou. Pro vrtání děr do cuprexitu vyžadují vrtáky otáčky kolem  $8000\text{ min}^{-1}$ . Použitý motor má minimální otáčky v nezátíženém stavu  $10000\text{ min}^{-1}$ ,



Obr. 19.:  
Frézovací motor  
KRESS FME800  
[13]



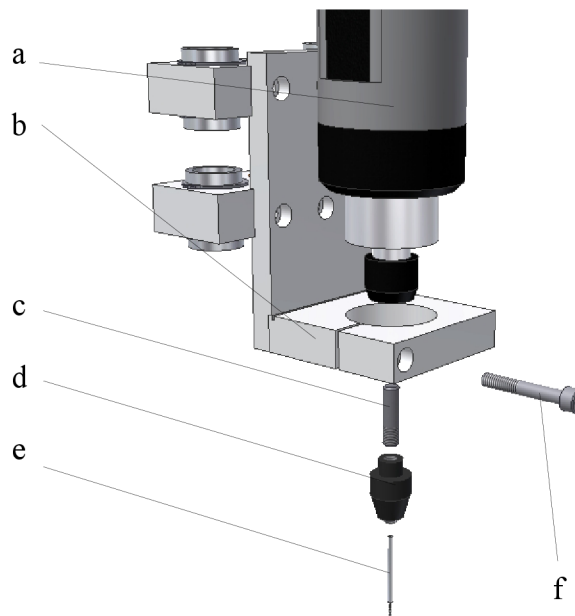


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

takže je vyhovující. Vrtáky budou uchyceny v tříčelistovém sklíčidlu, které se dotahuje rukou. Sklíčidlo je našroubováno na válcové stopce a ta je ve vřetenu uchycena pomocí 8mm kleštiny (obr. 20.).

Popis (obr. 21.)

- a) frézovací motor KRESS FME800
- b) objímka pro uchycení motoru
- c) stopka,  $\text{Ø}8\text{-}30$
- d) 3-čelistové sklíčidlo PROXXON, rozsah upínání 0,3 až 3,2 mm
- e) spirálový vrták z wolfram-vanadové oceli, různé průměry
- f) šroub M6x40, ČSN 02 1143 A

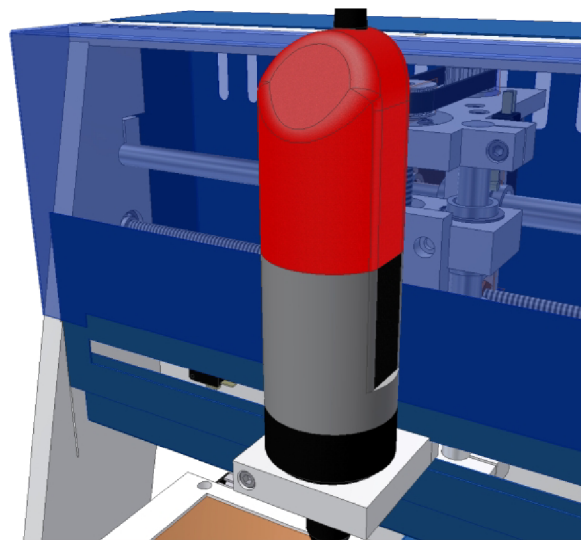


Obr. 20.: Vřeteno

## 2.6 Krytování

Dobré zakrytování obráběcího stroje je velice důležité z hlediska funkčního i bezpečnostního. Krytem se zamezí průniku nečistot na lineární vedení a pohybový mechanismus a tím jejich poškození. Také se jedná o prvek pasivní bezpečnosti, kdy jsou všechny pohyblivé části uschovány a nehrozí proto poranění obsluhy stroje.

Pro zakrytování vrtačky byl zvolen velice jednoduchý způsob pohyblivého plechu, který je volně uložen v horizontální drážce mezi frézovacím motorem a vozíkem osy Z a vertikální drážce v obou sloupech. Tento plech se pohybuje spolu s vřetenem a zajíždí pod pevné kryty přišroubované na rámu (obr. 21.). V zadním krytu horní skříň jsou otvory sloužící pro odvod teplého vzduchu ohřátého od krokových motorů. Spodní skříň je z horní části zakryta hliníkovým plechem, na který budou přišroubovány elektronické prvky a přístup k nim bude zajištěn po obrácení vrtačky na levý bok a odstraněním spodního krytu. Tento kryt má na dvou místech perforaci a na jedné z nich je přišroubován ventilátor pro odvod teplého vzduchu (obr. 31.).

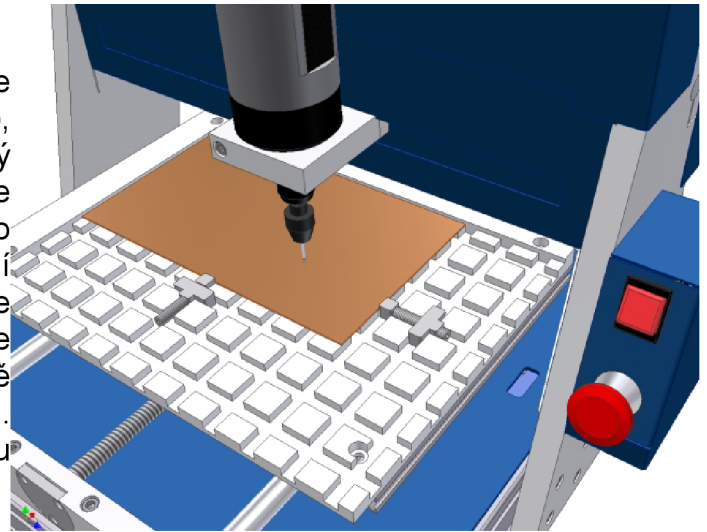


Obr. 21.: Zakrytování horní skříň



## 2.7 Upínání DPS

K upnutí plošného spoje slouží deska z plastu (plexisklo, může být i MDF deska, popř. jiný vhodný materiál) přišroubovaná ke stolu, která má v sobě vyfrézováno křížně několik drážek. Levý a zadní okraj je vystouplý a o ně se opře plošný spoj. Do drážek v desce se vloží upínky a destička se opatrně přitáhne imbusovým klíčem. Destičku je vhodné upnout z obou stran (obr. 22.).



Obr. 22.: Upínání DPS

## 3 POHONY A ŘÍZENÍ

### 3.1 Motory

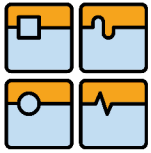
Motor, který pohání pohybový šroub, musí být schopen se natočit do požadované polohy, popř. udělat daný počet otáček. Jelikož je použitý trapézový šroub samosvorný tak nemusí mít motor velký přídržný moment. Naopak je vhodné, aby měl co největší kroutící moment, který zásadně ovlivňuje rychlost a zrychlení pohybu.

#### **Krokové motory**

*velkou předností krokových motorů je, že pracují bez nákladných snímačů otáček nebo polohy, jsou jednodušší a tím i provozně spolehlivější a levnější. Řízení se typicky provádí v přímé větvi bez zpětné vazby. Jedinou podmínkou spolehlivé funkce je jejich správné dimenzování ve všech provozních režimech. Mají vysokou životnost a jsou bezúdržbové [14]. Pokud by došlo k přetížení motoru, tak motor může ztratit jeden nebo i více kroků. Toto vede ke ztrátě přesné polohy osy a nepřesnosti obrábění v lepším případě, v tom horším může dojít k nabourání pohybujících se částí. Pro profesionální průmyslové aplikace se v současné době používají především 3-fázové krokové motory, které jsou posledním vývojovým typem v tomto oboru. Svými vlastnostmi, novou progresivní konstrukcí a způsobem řízení, překonaly a nahradily své předchůdce: 5-fázové krokové motory, které se vyráběly dlouhá léta před nimi, ale i jednodušší 2-fázové krokové motory [14].*

#### **Servomotory**

*servomotory jsou bezkartáčové synchronní motory s permanentními magnety na rotoru a třífázovým vinutím ve statoru. Optimalizovaná konstrukce motoru s použitím nových magnetických materiálů (neodym-železo-bór) dovoluje až 5-násobné momentové přetížení a tyto motory jsou proto vhodné pro dynamicky náročné úlohy. Doplněním vhodnou planetovou převodovkou je možno optimalizovat potřebný moment k otáčkám pohonu [14]. Při použití servomotorů se musejí využívat snímače polohy, popř. otáček nebo použít motory se zabudovaným enkodérem, který sleduje přesnou polohu natočení motoru.*



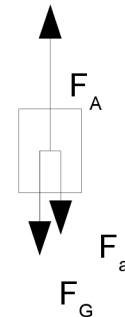
**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Jako dostatečně vyhovující byly zvoleny dvoufázové krokové motory, které používají jednoduché a levné řízení. Výše bylo upozorněno na důležitost volby motoru s dostatečně velkým kroutícím momentem. Jelikož se jedná o malý stroj, kde jsou malé řezné síly, tak se může při výpočtu použít mnohých zjednodušení.

Výpočet (tab. 1.) bude proveden pro osu Z při výjezdu vřetena z vyvrtané díry směrem vzhůru. Tehdy působí na šroub největší axiální síla a tím je i motor zatížen největším kroutícím momentem. Ostatní osy kontrolovány nebudou a použijí se stejné motory jako pro osu Z. Na osy X a Y působí předeprnutí pohybových matic, které je ovšem kompenzováno chybějící gravitační silou, jež je zachycena lineárním vedením mající velkou účinnost a z toho vyplývající nízké ztráty třením. Velikost předeprnutí je rovna velikosti gravitační síly působící na osu Z.

Tab. 1.: Minimální kroutící moment krokového motoru [15]

$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2\pi \cdot \eta_C} + M_{set}$  $F_A = F_G + F_a + F_v$ $F_G = m_Z \cdot g$ $F_a = m_Z \cdot a$ $F_A = m_Z \cdot (g + a) + F_v =$ $= 2,68 \cdot (9,82 + 2) + 10 =$ $= 41,7 \text{ N}$  $\eta_C = \eta_S \cdot \eta_V \cdot \eta_L \cdot \eta_P =$ $= 0,22 \cdot 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,99 =$ $= 0,20$  $M_{set} = \sum J_{si} \cdot \varepsilon_i$  $\varepsilon = \frac{a \cdot 2\pi}{s} = \frac{2 \cdot 2\pi}{0,003}$ $= 4189 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$	<p><math>F_A</math> - výsledná axiální síla působící na pohybový šroub</p> <p><math>s</math> [m] - stoupání pohybového šroubu [m]</p> <p><math>\eta_C</math> [-] <math>s=3\text{mm}</math></p> <p><math>M_{set}</math> - celková účinnost posuvové soustavy [-] - moment setrvačnosti rotujících částí [Nm]</p> <p><math>m_Z</math> - hmotnost vozíku Z a vřetena [kg] <math>m_Z=2,68\text{kg}</math> – dle modelu</p> <p><math>g</math> - gravitační zrychlení [<math>m \cdot s^{-2}</math>] <math>g=9,82\text{m} \cdot \text{s}^{-2}</math></p> <p><math>a</math> - zrychlení posuvu [<math>m \cdot s^{-2}</math>] <math>a=2\text{m} \cdot \text{s}^{-2}</math> - voleno</p> <p><math>F_v</math> - síla potřebná na vyjetí vrtáku z díry [N] <math>F_v=10\text{N}</math> - odhad</p> <p><math>\eta_S</math> - účinnost pohybového šroubu [-] <math>\eta_S=0,22</math> – ocelový šroub a bronzová matice, špatně mazané</p> <p><math>\eta_V</math> - účinnost vedení [-] <math>\eta_V=0,98</math> – valivé vedení</p> <p><math>\eta_L</math> - účinnost ložisek [-] <math>\eta_L=0,92</math> – kuličková ložiska, oboustranné uložení</p> <p><math>\eta_P</math> - účinnost převodu [-] <math>\eta_P=0,99</math> – ozubený řemen</p> <p><math>J_{si}</math> - moment setrvačnosti rotujících částí [<math>kg \cdot m^2</math>] <math>\varepsilon_i</math> - úhlové zrychlení rotujících částí [<math>rad \cdot s^{-2}</math>]</p> <p>- úhlové zrychlení <math>\varepsilon</math> je pro všechny části stejné, protože je mezi motorem a šroubem použit převod <math>i=1</math></p>
--	---





BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

$$M_{set} = (J_{s1} + 2 \cdot J_{s2} + J_{s3}) \cdot \varepsilon =$$

$$= (48 + 2 \cdot 2,18 + 2,95) \cdot$$

$$10^{-6} \cdot 4189 = 0,24 \text{ Nm}$$

$J_{s1}$  - moment setrvačnosti motoru [ $kg \cdot m^2$ ]

$J_{s1} = 48 kg \cdot mm^2$  - odhad

$J_{s2}$  - moment setrvačnosti ozubených řemenic [ $kg \cdot m^2$ ]

$J_{s2} = 2,18 kg \cdot mm^2$  - dle modelu

$J_{s3}$  - moment setrvačnosti pohybového šroubu [ $kg \cdot m^2$ ]

$J_{s3} = 2,95 kg \cdot mm^2$  - dle modelu

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \Pi \cdot \eta_C} + M_{set} =$$

$$= \frac{41,7 \cdot 0,003}{2 \Pi \cdot 0,20} + 0,24 =$$

$$= 0,34 \text{ Nm}$$

Minimální kroutící moment krokového motoru

$M_m = 0,34 \text{ Nm}$

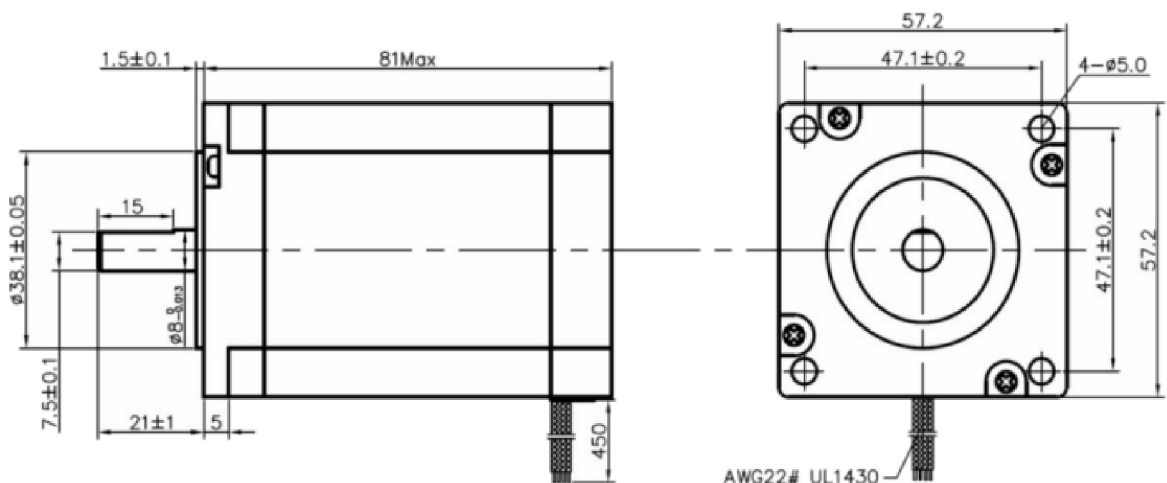
Spočítaný moment se zdá být velmi malý, ale musí se brát v úvahu, že došlo k velkému zjednodušení výpočtu a i tento případ by platil za ideálních podmínek, které samozřejmě nikdy nenastanou. Jako vhodný součinitel bezpečnosti se jeví  $k=3$ . Při užití této bezpečnosti se eliminují nepřesnosti ve výpočtu a je zaručeno, že nedojde při práci stroje ke ztrátě kroku. Vyšší výkon motoru dovoluje použití vyšších otáček a tím i posuvových rychlostí a celkově zlepšuje dynamiku pohybu.

Požadovaný kroutící moment krokového motoru  $M_k = M_m \cdot k = 0,34 \cdot 3 = 1,0 \text{ Nm}$

Na základě této hodnoty byl vybrán 2-fázový krokový motor Leadshine 57HS22 s přírubou NEMA23 a rozlišením 200 kroků na otáčku (tab. 2.) a (obr. 23.)

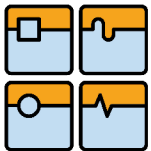
Typ	Zapojení	Moment (Nm)	Proud (A)	Odpor vinutí (Ohm)	Indukčnost (mH)	Moment setrvačnosti g.cm <sup>2</sup>	Hmotnost Kg
57HS22	Bipolární Paralelní	2.2	5.7	0.4±10%	1.8±20%	480	1.2
	Bipolární Sériové	2.2	2.8	1.6±10%	7.2±20%		
	Unipolární	1.5	4.0	0.8±10%	1.8±20%		

Tab. 2.: Elektrické parametry krokového motoru Leadshine 57HS22 [5]



Obr. 23.: Rozměry krokového motoru Leadshine 57HS22 [5]





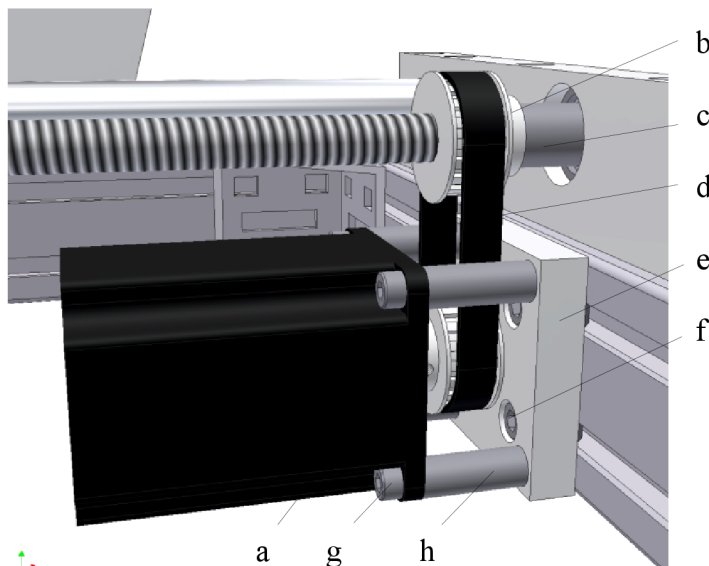
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Převod z motoru na pohybový šroub je uskutečněn prostřednictvím ozubeného řemenu a příslušných řemenic. Přenášený výkon je malý, proto byl zvolen řemen šířky 10mm s roztečí zubů 5mm. Převodový poměr převodu je  $i=1$ , z toho vyplývá, že řemenice musejí mít stejný počet zubů. Kvůli zástavbové velikosti byli vybrány řemenice s počtem zubů  $z=18$ . Použití řemenového převodu dovoluje mírnou nepřesnost v rovnoběžnosti uložení rotoru a pohybového šroubu, proto již není potřeba používat spojky.

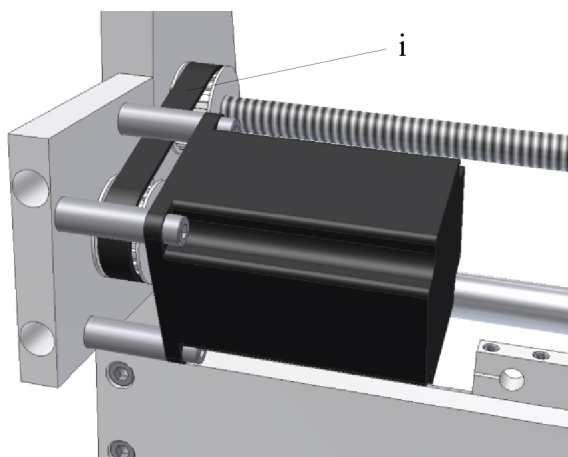
Z (obr. 24.) je patrné uložení krokového motoru osy Y, který je pomocí distančních sloupků odsazen od základny a toto uspořádání dovoluje umístění motoru uvnitř rámu a následné lehké zakrytování celé vrtačky. Motor osy X (obr. 25.) je uložen stejným způsobem. Aby nedošlo ke kolizi mezi motorem osy Z (obr. 26.) a motorem osy X tak je motor osy X posunut níže oproti ose pohybového šroubu a je pootočen z důvodu průchodu ozubeného řemenu.

Popis (obr. 24.), (obr. 25.) a (obr. 26.)

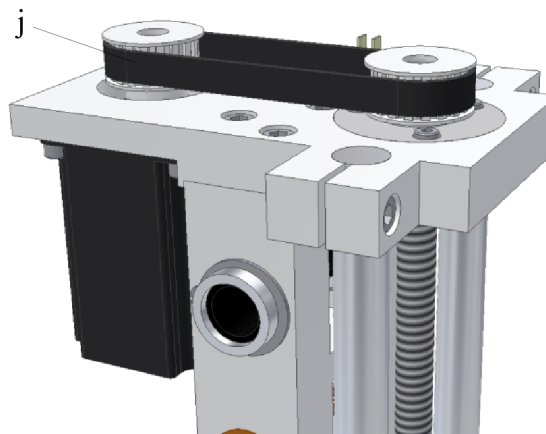
- a) krokový motor 57HS22
- b) ozubená řemenice 21 T5-18, 18 zubů, rozteč 5mm, šířka řemenu 10mm
- c) opěrný kroužek,  $\varnothing 16-19$
- d) ozubený řemen T5-200-10, délka 200mm, 40 zubů, rozteč 5mm, šířka 10mm
- e) uchycení motoru Y
- f) šroub M6x12, ČSN 02 1143 A
- g) šroub M5x40, ČSN 02 1143 A
- h) distanční sloupek,  $\varnothing 10-26,5$
- i) ozubený řemen T5-220-10, délka 220mm, 44 zubů, rozteč 5mm, šířka 10mm
- j) ozubený řemen T5-270-10, délka 270mm, 54 zubů, rozteč 5mm, šířka 10mm



Obr. 24.: Uložení motoru osy Y

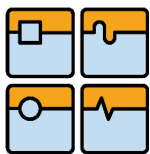


Obr. 25.: Uložení motoru osy X



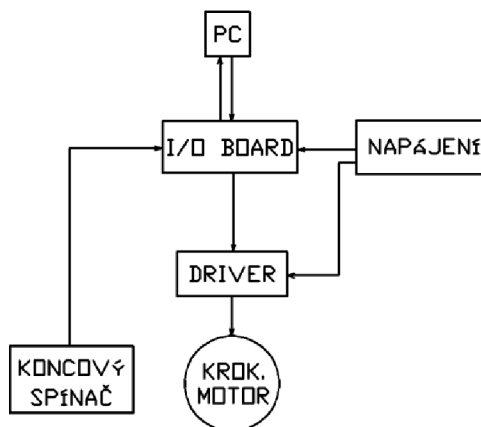
Obr. 26.: Uložení motoru osy Z





### 3.2 Řízení

V předchozí kapitole byly zvoleny k pohonu pohybových šroubů krokové motory a od nich se bude odvíjet volba vhodného řízení. Řízení krokového motoru probíhá podle schématu na (obr. 27.). Software v počítači (PC) posílá po sběrnici signály do oddělovací desky (I/O BOARD). Ta tyto signály přijme, zkonvertuje a pošle dále do výkonového prvku (DRIVER). Ten je přímo napájen zdrojem napětí (NAPÁJENÍ) a podle typu přijatého signálu ovládá krokový motor. K oddělovací desce je připojen snímač koncového nebo referenčního bodu (KONCOVÝ SPÍNAČ). Ten v případě najetí osy na tento bod vyšle signál do oddělovací desky a ta jej vrátí do počítače, kde je tento signál zpracován softwarem a ten provede příslušná opatření.



Obr. 27.: Schéma řízení krokového motoru

Existuje několik možných způsobů řízení krokových motorů. Kvůli magnetickým jevům jsou omezeny otáčky motoru na několik set kroků za sekundu. Při překročení této maximální rychlosti nebo příliš velké zátěži ztratí motor kroky.

#### **Metody řízení krokových motorů**

*Unipolární versus bipolární.* Při unipolárním řízení prochází v jednom okamžiku proud právě jednou cívkou. Motor s tímto buzením má nejmenší odběr, ale také poskytuje nejmenší kroutící moment. Při bipolárním řízení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší kroutící moment, ovšem za cenu vyšší spotřeby.

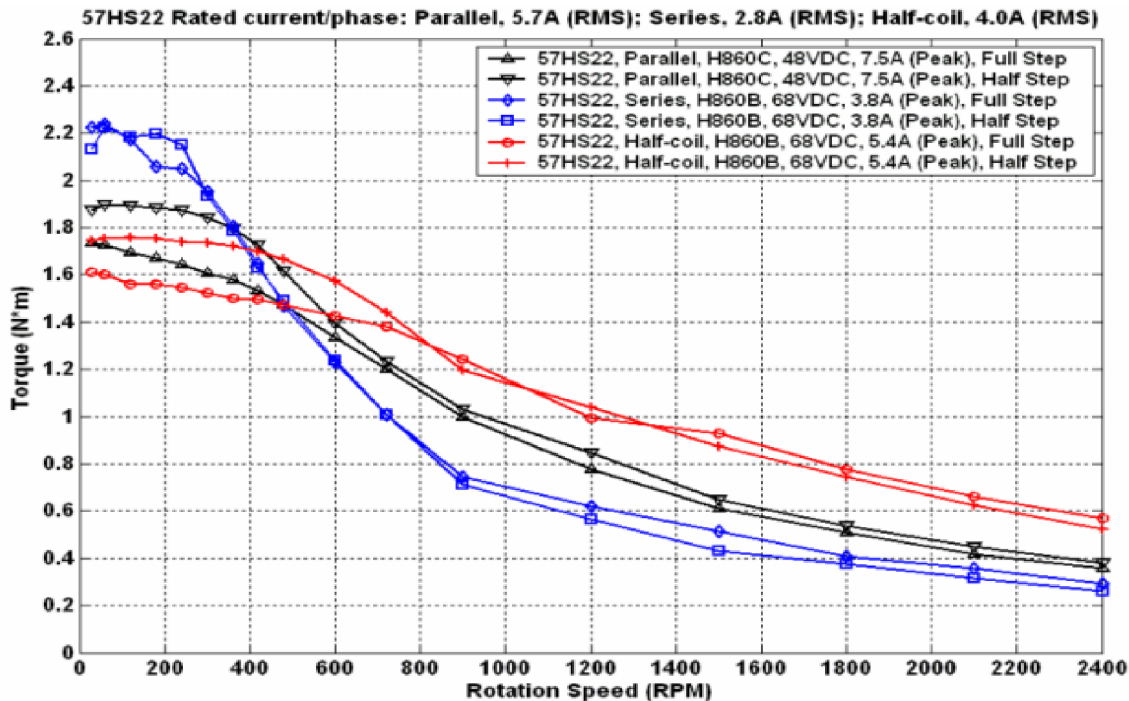
*Jednofázové versus dvoufázové.* Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení). Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší kroutící moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému.

*Řízení s plným versus polovičním krokem.* Řízení s plným krokem znamená, že na jednu otáčku je potřeba přesně tolik kroků, kolik zubů má stator daného motoru. Lze ho dosáhnout použitím kterékoliv doposud uvedené metody řízení. Řízením s polovičním krokem lze dosáhnout dvojnásobné přesnosti. Technicky se jedná o střídání kroků s jedno- a dvoufázovým řízením. [16]

Pro výběr správné metody řízení je nutné znát momentovou charakteristiku krokového motoru, jeho elektromagnetické parametry a porovnat je s požadavky na pohon pohybového šroubu. Z výpočtu potřebného kroutící momentu (tab. 1.) vyplývá, že není potřeba vysoký kroutící moment při nízkých otáčkách, naopak je vhodné, aby motor poskytl dostatečný výkon při otáčkách vyšších, protože potom lze použít vyšší posuvové rychlosti. Podle grafu na (obr. 28.) je zvoleno jako vhodné řízení unipolární s polovičním krokem – červená křivka s čárkou (half-coil, half-step).



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 28.: Momentová charakteristika krokového motoru 57HS22 [5]

### Driver

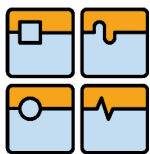
Driver musí být schopen dodat dostatečný proud pro motor. Pokud se tak nestane, tak motor nedokáže vytvořit dost velký kroučící moment. Pro danou charakteristiku odpovídá napětí 68VDC, jmenovitý proud 4.0A a špičkový proud 5.4A. Jelikož bylo při výpočtu potřebného kroučícího momentu použito velkého součinitele bezpečnosti, tak může být dodávaný proud nižší. Zvolen byl driver Leadshine ME742 (tab. 3.), který je schopen dodat téměř 80% potřebného výkonu, což odpovídá hodnotě kroučícího momentu  $M_{kmax} = M_{kj} \cdot 0,8 = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 > M_k$  a to je stále větší než vypočítaný minimální kroučící moment.

Napájecí napětí do +70VDC, špičkový proud do 4,2A  
Nastavení proudu fáze od 1 do 4,2A (8 hodnot)  
15 volitelných rozlišení kroku až do 25000 kroků/ot  
Maximální vstupní frekvence 200 Khz  
Opticky izolované vstupní signály  
Vhodný pro 2-fázové a 4-fázové krokové motory  
Ochrana proti zkratu na výstupu, podpětí a přepětí napájecího napětí  
Automatická redukce proudu po zastavení motoru



Tab. 3.: Parametry driveru Leadshine ME742 [5]

Použity musejí být samozřejmě tyto drivery tři, pro každý krokový motor samostatný. Při práci stroje se drivery můžou silně zahřívat, proto je nutné ponechat žebrování chladičů volné, nejlépe je ofukovat ventilátorem.

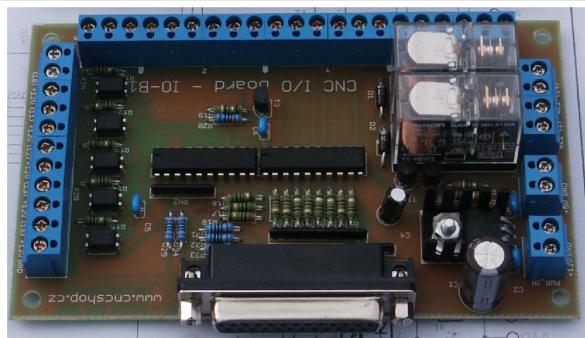


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Oddělovací deska**

Oddělovací deska slouží k jednoduchému propojení driverů, koncových spínačů, tlačítek nouzového zastavení, vřeten apod. s počítačem. Deska převádí signály z řídicího softwaru na signály typu pulse/direction, které využívají použité drivery. Jedná se o signál, kde pulse vyjadřuje potřebný počet kroků motoru a direction směr otáčení motoru. Pro vrtačku DPS byla vybrána oddělovací deska CNC IO Board B1\_v.1 z nabídky prodejce CNCshop.cz (tab. 4.).

Vstupní a výstupní signály do PC jsou připojeny přes sběrnice budiče 74HCT541 poskytující výstupní proud 25mA. Paralelní port se připojuje paralelním kabelem 1:1, na desce je instalován konektor DB25, vstupní a výstupní signály jsou vyvedeny pomocí šroubovacích svorkovnic. Vstupní signály jsou opticky oddělené optočleny, po odstranění propojky na DPS je možné používat vstupní signály jako galvanicky oddělené se společnou zemí. Součástí desky jsou 2 relé umožňující spínání až do výkonu 2500W a výstup stabilizovaného napětí 5VDC / 400mA. [5]

Napájecí napětí:	12VDC / 400mA	
Počet výstupních linek:	11	
Počet vstupních linek:	5	
Výstupní linky:	P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8, P9,P17 – max 25mA P1,P14 - galvanicky oddělené pomocí relé (P1-Re1, P14-Re2)	
Vstupní linky:	P10,P11,P12,P13,P15 - opticky oddělené pomocí optočlenů	
Zatížitelnost relé:	10A/250VAC	
Výstupní napětí:	5VDC / 400mA	

Tab. 4.: Parametry oddělovací desky CNC I/O Board B1\_v.1 [5]

**Napájecí zdroj**

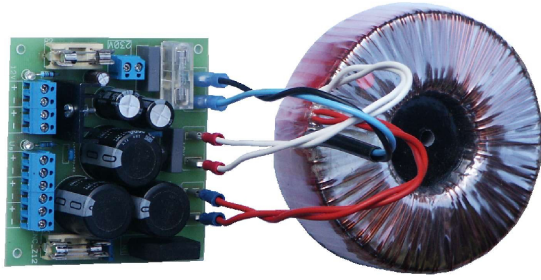
Napájecí zdroje poskytují 2 výstupní vzájemně galvanicky oddělené napětí, nestabilizované pro připojení driverů a stabilizované 12V/1A pro připojení oddělovací desky, ventilátoru apod. Zdroj se skládá s toroidního transformátoru a modulu zdroje, propojení je pomocí vidlic typu faston. Na desce modulu jsou umístěny šroubovací svorkovnice pro připojení vstupního napětí 230V, 3x svorkovnice pro výstupní nestabilizované napětí a 2x svorkovnice pro výstupní stabilizované napětí 12V. Na modulu jsou umístěny 3 pojistky v pojistkových pouzdrech, jedna síťová pojistka a dvě pojistky pro výstupní napětí. Obě výstupní napětí jsou signalizována LED diodami. Síťové i výstupní střídavé napětí transformátoru jsou odrušeny fóliovými kondenzátory, výstupní stejnosměrná napětí jsou blokovány kombinací keramických a fóliových kondenzátorů.[5] Výkon zdroje se musí volit s ohledem na maximální možný odběr proudu. Při vrtání pracují dva motory při najíždění na souřadnice díry, nebo jeden motor při vrtání. Nikdy nebudou pracovat všechny tři motory zároveň. Drivery os X a Y budou mít nastaveno omezení odběru proudu na  $I_m=3,76A$  z důvodu možnosti práce obou motorů v jeden okamžik. Proto bude maximální odebíraný





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

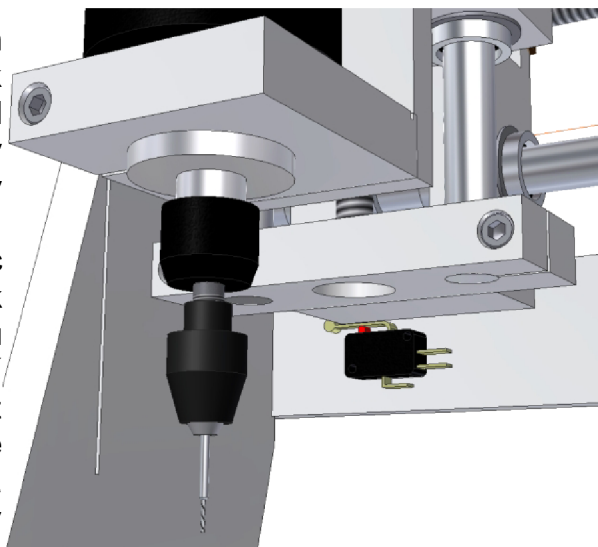
proud roven hodnotě  $I_{max} = 2 \cdot I_m = 2 \cdot 3,76 = 7,52 A$ . Na základě tohoto požadavku bude použit zdroj PS500/70 od prodejce CNCshop.cz (tab. 5.). Výstupní napětí zdroje též vyhovuje požadavkům driverů.

Výstupní výkon:	502W	
Výstupní napětí (naprázdno):	70V	
Výstupní proud:	7A	
Výstupní napětí II	stabilizované 12V / 1A	
Rozměry transformátoru (průměr x výška):	132 x 50mm	
Rozměry modulu:	120 x 100mm	

Tab. 5.: Parametry zdroje PS500/70 [5]

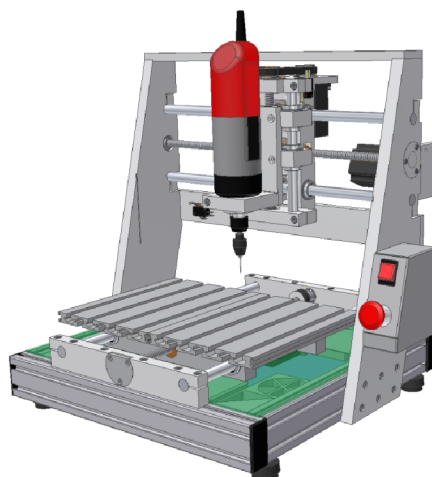
### Referenční snímače

Na každé ose bude umístěn jeden mikropsínač s rolnou, který bude sloužit k najíždění vřetena na referenční bod (obr. 29.). Tyto spínače budou umístěny vždy na jednom konci osy, takže se nikdy nestane, že by vřeteno přešlo na druhou stranu spínače. Při najíždění souřadnic se vřeteno bude rozjíždět směrem k referenčnímu spínači, nikdy ne na druhou stranu – toto bude zajištěno pomocí řídicího softwaru. Je také vhodné nastavit zpomalení posuvu při přiblížení ke spínači, aby se posuv stihl včas zastavit a nedošlo k přejetí. Na druhém konci osy žádné koncové spínače nebudou a vše tedy bude zajišťovat použitý software.

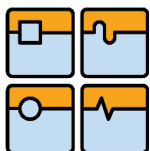


Obr. 29.: Najetí na referenční bod osy X

Na rámu vrtáčky bude dostupné tlačítko nouzového zastavení (obr. 30.). Pokud by došlo k chybě v řízení nebo v programu a hrozila by kolize s obrobkem, upínacími prvky apod. musí obsluha stroje toto tlačítko stisknout. Stisk pošle impuls do oddělovací desky a ta následně informuje software, že má okamžitě zastavit veškerý pohyb stroje, tzn. zastavit jak posuvy tak i vřeteno. Komunikace probíhá velmi rychle a motory se zastaví okamžitě po stisku. Kdyby toto tlačítko odpojovalo hlavní přívod napájení, tak se po stisknutí budou motory dotáčet svojí setrvačností a ke kolizi by mohlo dojít.

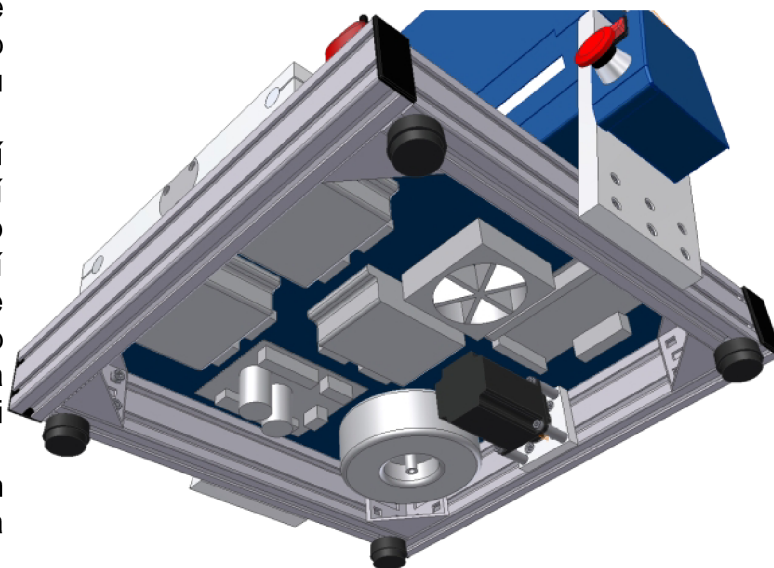


Obr. 30.: Pohled na odkrytovanou vrtáčku



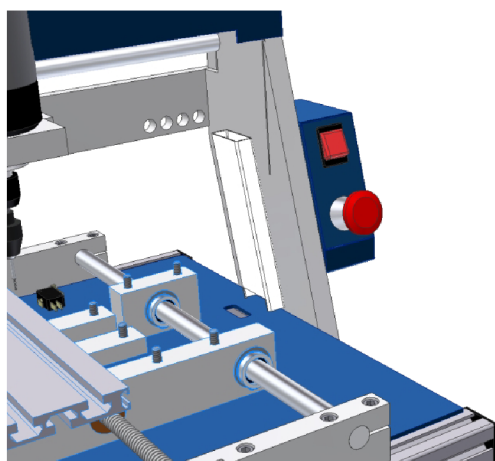
### 3.3. Elektroinstalace

Veškerá řídicí elektronika je soustředěna v prostoru základny rámu (*obr. 31.*). Strop tohoto prostoru je tvořen duralovým plechem o tloušťce 3mm, ke kterému jsou připevněny drivery, oddělovací deska, toroidní transformátor a napájecí modul. Přístup do tohoto prostoru je zajištěn spodní stranou vrtačky. Otvor je uzavřen ocelovým plechem o tloušťce 1mm, který má na dvou místech perforaci sloužící k odvětrávání skříně. Na plechu je připevněn ventilátor, který obstarává dobré proudění vzduchu. Propojení jednotlivých prvků se provede podle příslušné technické dokumentace.



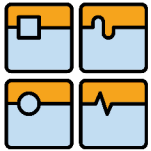
Obr. 31.: Otevřená spodní skříň

Kabely k vřetenu, motorům a mikrospínačům jsou protaženy skrz strop spodní skříně a jsou vedeny podél levého sloupu v elektroinstalační liště do skříně horní, kde jsou protaženy otvory ve vzpěře do zadní části (*obr. 33.*). Tam jsou jednotlivé vodiče připojeny na svorkovnici. Ze svorkovnice jsou dále vedeny k jednotlivým prvkům. Vodiče od motorů zůstanou v původní délce a u svorkovnice budou zkráceny smotáním do klubka, zajištěny stahovací páskou a bezpečně uloženy v zadní části horní skříně. Napájecí kabel vřetena bude zkrácen na potřebnou délku. Vodiče vedoucí k motoru osy Z a příslušnému mikrospínači včetně zemního vodiče budou protaženy flexibilní hadicí dostatečné délky, aby pokryla celý rozsah pohybu osy. Konce hadice budou uchyceny na vzpěře a na vozíku osy X pomocí stahovací pásky. Toto řešení zamezuje volnému pohybu vodičů a vylučuje možnost kontaktu vodičů s pohybovým šroubem nebo jinými částmi.



Obr. 32.: Vedení kabelů do horní skříně a ovladač

Jediné ovládací prvky vrtačky jsou umístěny na plechovém ovladači (*obr. 32.*) na pravém sloupu vrtačky. Jsou to tlačítko nouzového zastavení a vypínač hlavního přívodu napájení. Zapnuté napájení je signalizováno červeným podsvícením. Přívodní kabel je zapojen do ovladače ze zadní části prostřednictvím napájecího síťového EURO konektoru se zabudovanou pojistkou. Pojistka má hodnotu 6A. V zadní části ovladače je ještě umístěn datový konektor DB-25 pro připojení k počítači. Napájecí i datový kabel jsou vedeny bokem ovladače skrz díru ve sloupu do elektroinstalační lišty a tudy dále do spodní skříně, kde jsou připojeny k příslušným prvkům.

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Všechny vodiče je potřeba svázat k sobě a pevně je uchytit k pevným částem rámu pomocí stahovacích pásek. Přispívá to k přehlednosti zapojení a zabraňuje nechtěnému pohybu vodičů.

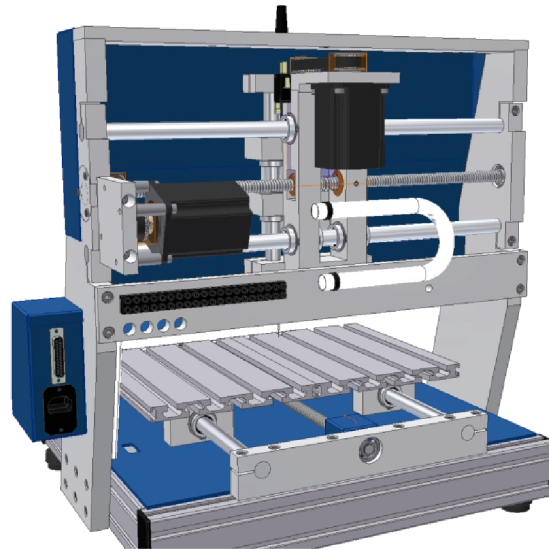
Instalaci, veškeré opravy, úpravy a zásahy do elektrického zařízení smí provádět pouze oprávněná osoba způsobilá k této činnosti.

### 3.4 Řídicí software

K ovládní vrtačky musí být použit software, který dokáže komunikovat skrz LPT rozhraní počítače, využívá systém řízení pulse/direction a který dokáže zprostředkovat manuální řízení jednotlivých os.

Samozřejmě musí umět pracovat se standardním programovacím ISO kódem. Výrobce použité oddělovací desky doporučuje použití softwaru Mach3 firmy ArtSoft USA. Lze samozřejmě použít i software jiných výrobců splňující výše uvedené požadavky.

Základní vlastnosti softwaru jsou uvedeny v (tab. 6.) a minimální hardwarové nároky v (tab. 7.) Důležité je správné nastavení softwaru pro konkrétní obráběcí stroj. Toto nastavení je detailně popsáno v technické dokumentaci použitého programu.

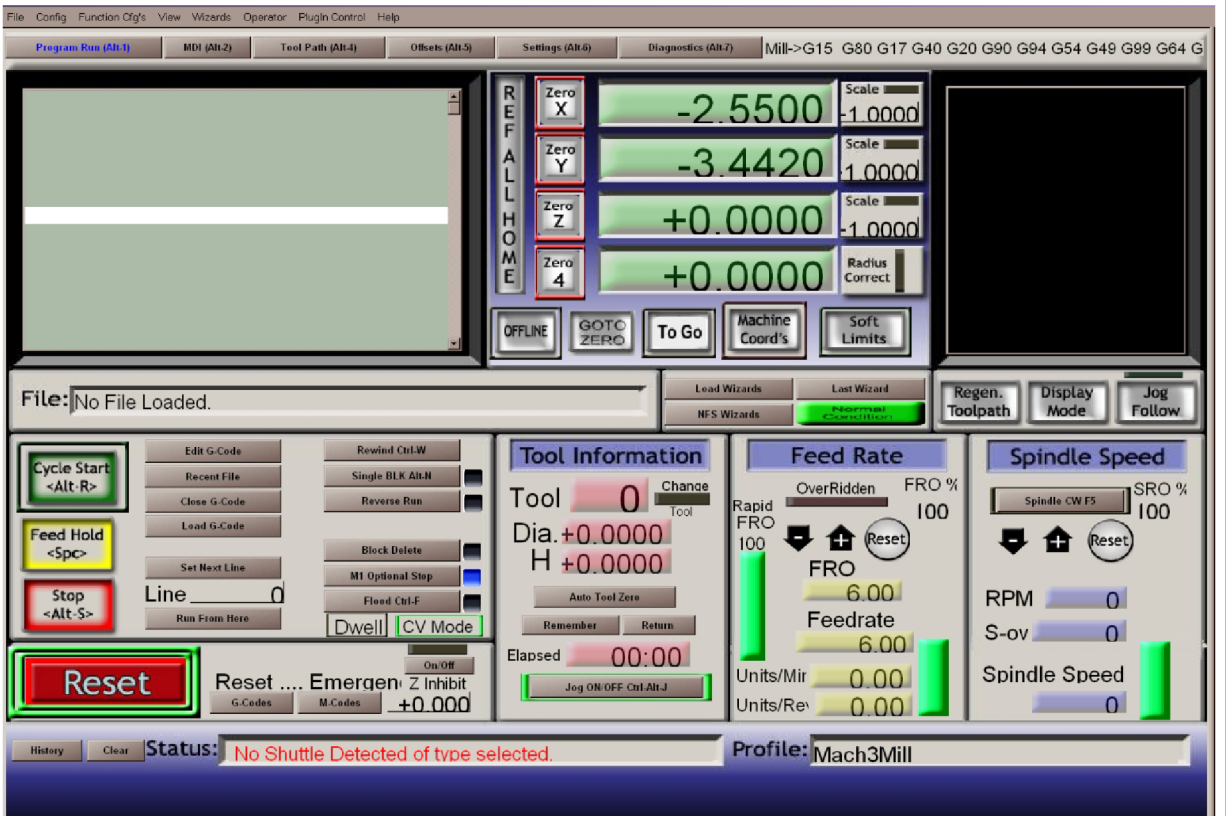


Obr. 33.: Zadní část horní skříně a ovladač

připojení stroje přes LPT port	operační systém Windows2000/XP
řízení motorů systémem STEP/DIR	1GHz CPU
řízení až 6-ti osého stroje	512 MB RAM
pracuje se standardním ISO kódem	dedikovaná grafická karta s 32 MB RAM
20 výstupních a 20 vstupních pinů	
ovládání vřetena, chlazení, odsávání	
limity posuvů, včetně referenčního bodu	

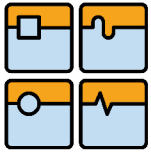
Tab. 6.: Základní vlastnosti softwaru Mach3

Tab. 7.: Minimální hardwarová konfigurace PC



Obr. 34: Řídící obrazovka softwaru Mach3 společnosti ArtSoft USA





## 4 PARAMETRY VRTAČKY

### 4.1 Určení základních parametrů

#### Přesnost polohování

Přesnost je závislá na stoupání pohybového šroubu, na způsobu jeho uložení, na použitém převodu mezi šroubem a motorem a na rozlišení krokového motoru. Dále pak na přesnosti lineárního vedení obou os kolmých k ose zjišťované (tab. 8.).

Maximální nepřesnost lineárního vedení je dána rozdílem maximálního průměru díry kuličkového pouzdra a minimálního průměru vodící tyče.

$$e_{lv} = 16,009 - 15,989 = 0,020 \text{ mm}$$

Vůle mezi pohybovým šroubem a maticí je eliminována díky předepnutí matice. U krokového motoru bylo zvoleno poloviční krokování, rozlišení motoru je tedy 400 kroků na jednu otáčku. To v kombinaci s převodovým poměrem 1:1 a stoupáním šroubu 3mm dává posunutí na jeden krok

$$e_{km} = \frac{3}{400} \cdot \frac{1}{1} = 0,0075 \text{ mm}$$

Celková přesnost polohování je potom dána součtem posunutí na jeden krok, axiální vůle ložiska a vůlí dvou lineárních vedení

$$e_{ct} = 2 \cdot e_{lv} + e_{km} + e_{la} = 2 \cdot 0,020 + 0,0075 + 0,060 = 0,1075 \text{ mm}$$

Tato přesnost je ovšem v nejnepříznivějších podmínkách a ve skutečnosti se bude pohybovat přibližně na 75% této hodnoty.

$$e_c = 0,75 \cdot e_{ct} = 0,75 \cdot 0,1075 = 0,08 \text{ mm}$$

Zpřesnění polohování lze dosáhnout předepnutím lineárního vedení. Nepřesnost polohování lze taktéž řešit softwarově korekcí příslušných vůlí. Potom by se mohla přesnost polohování dvojnásobně zvýšit na hodnotu 0,04mm. Toto by šlo však zjistit pouze realizací vrtačky a správným korigováním.

#### Celkový příkon vrtačky

Příkon vrtačky je dán součtem příkonů jednotlivých elektrických prvků. Jedná se o příkon frézovacího motoru, a příkon toroidního transformátoru (tab. 9.), který napájí krokové motory. Toroidní transformátor má výkon 500W a účinnost kolem 90%. Ostatní elektronika má oproti výše zmíněným minimální příkon a tudíž ji můžeme zanedbat. Maximální proud protékající

přívodním kabelem je  $I_m = \frac{P_{max}}{U} = \frac{1356}{240} = 5,65 \text{ A}$ . Vrtačku je nutné jistit proudovou pojistkou o hodnotě 6A.

Součást	tolerance, rozlišení, vůle
kuličkové pouzdro	15,999 – 16,009
vodící tyč	15,989 – 16,000
kuličkové ložisko	0,060
krokový motor	400 kroků na otáčku
převodový poměr	1:1
pohybový šroub	stoupání 3mm

Tab. 8.: Parametry polohovacích prvků

max. příkon frézovacího motoru	800W
max. příkon transformátoru	500/0,9=556W
celkový max. příkon vrtačky	1356W

Tab. 9.: Max. příkon vrtačky



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE****Maximální rychlost posuvu**

Maximální rychlost posuvu je dána maximálními otáčkami krokového motoru, převodovým poměrem mezi motorem a pohybovým šroubem a stoupáním šroubu. Maximální bezpečné otáčky motoru jsou stanoveny z grafu na (obr. 28.) na 1000 ot/min. Převodový poměr je 1:1 a stoupání pohybového šroubu je 3 mm.

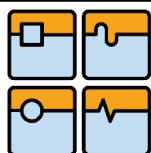
$$v_{max} = 1000 \cdot 3 \cdot \frac{1}{1} = 3000 \text{ mm/min} = 50 \text{ mm/s}$$

**4.2 Parametry vrtačky DPS**

V následující tabulce (tab. 10.) jsou uvedeny všechny hlavní parametry navrhované vrtačky desek plošných spojů.

rozměry pracovního stolu	240 x 360 mm
pojezd X	304 mm
pojezd Y	220 mm
pojezd Z	72 mm
max. rychlost posuvu	50 mm/s
min. krok	0,0075 mm
max. přesnost	0,08 mm
otáčky vřetene naprázdno	10 000 – 30 000 ot/s
výkon vřetene	420 W
upínání nástrojů	3-čelist'ové sklíčidlo Ø 0,3 – 3,2 mm
komunikace	LPT paralelní port
napájení	230 V / 50 Hz
max. příkon	1400 W
vnější rozměry (šxhxv)	528x450x503 mm
hmotnost	39 kg

Tab. 10.: Hlavní parametry vrtačky DPS



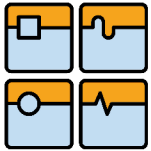
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## 5 CENOVÉ ZHODNOCENÍ

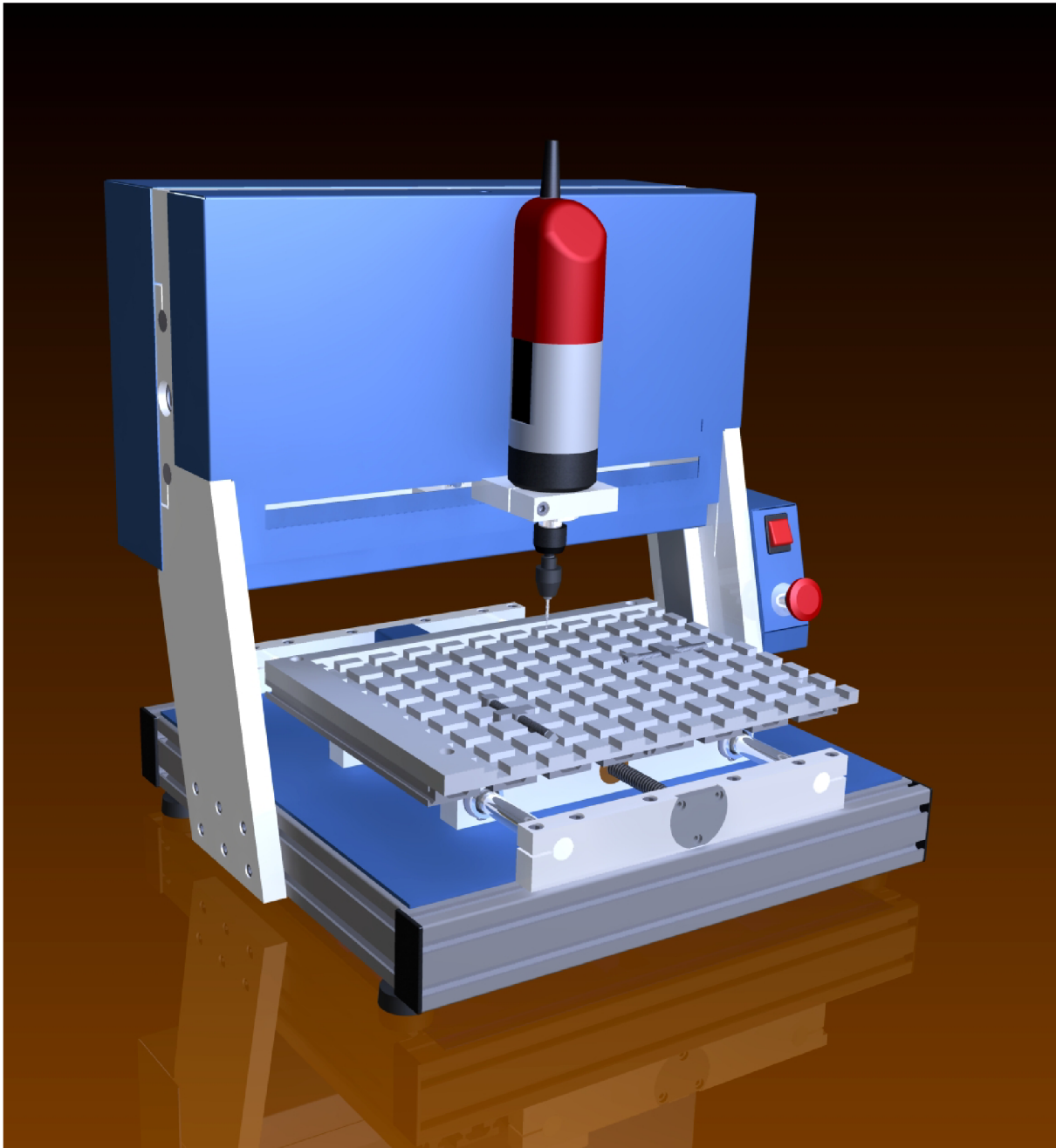
Při výběru komponent byl kladen důraz na nízkou cenu, ovšem ne na úkor kvality jednotlivých dílů. Všechny vybrané součásti jsou běžně dostupné na českém trhu a to většinou prostřednictvím internetového obchodu (tab. 11.).

Název	katalogové č./ norma	prodejce	cena za jednotku [Kč]	množství	celková cena [Kč]
<b>Rám</b>					
hliníkový profil Bosch 30x60	3842992457	Betz	758,50	2x0,39m	591,60
hliníkový profil Bosch 30x60	3842992457	Betz	790,90	2x0,44m	696,00
plochá tyč 120x20, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	812,50	1m	812,50
plochá tyč 50x12, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	203,75	0,96m	195,60
plochá tyč 80x12, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	325,00	0,14m	45,50
úhelník Bosch 60x60	3842523549	Betz	179,80	4ks	719,20
ocelový podstavec	MFS 8.35	T.E.A.	292,40	4ks	1169,60
profilová krytka Bosch 30x60	3842501232	Betz	21,20	4ks	84,80
					<b>4314,80</b>
<b>Vedení</b>					
ocelová vodící tyč Ø16	W16	T.E.A.	442,30	2,4m	1061,50
kuličkové pouzdro Ø16	UBM-16AWW	T.E.A.	451,00	12ks	5412,00
plochá tyč 130x20, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	881,25	0,28m	246,80
plochá tyč 45x20, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	307,50	0,55m	169,10
plochá tyč 25x12, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	101,25	0,24m	24,30
plochá tyč 80x12, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	325,00	0,14m	45,50
plochá tyč 50x25, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	423,75	0,66m	279,70
plochá tyč 80x40, AlMgSi0.5	EN AW 6063	ALUNET	1083,75	0,2m	216,80
hliníkový profil Bosch 15x180	3842993079	Betz	1533,40	2x0,24	736,00
					<b>8191,70</b>
<b>Posuvy</b>					
trapézový šroub	Tr 12x3	T.E.A.	167,80	1,2m	201,40
trapézová matice kruhová, bronz	MR-Tr 12x3 BZ	T.E.A.	251,00	3ks	753,00
trapézová matice šestihranná, bronz	MS-Tr 12x3 BZ	T.E.A.	303,50	3ks	910,50
jednořadé kuličkové ložisko SKF 6000	SKF 6000-2Z	Exvalos	108,50	6ks	651,00
ozubená řemenice	21 T5-18	T.E.A.	89,30	6ks	535,80
ozubený řemen 200	T5-200-10	T.E.A.	183,30	1ks	183,30
ozubený řemen 220	T5-220-10	T.E.A.	190,40	1ks	190,40
ozubený řemen 270	T5-270-10	T.E.A.	197,50	1ks	197,50
tyč kruhová Ø50 AlMgSiO.5	EN AW 6060	ALUNET	665,00	0,08m	53,20
					<b>3676,10</b>





BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



*Obr. 35.: Vrtačka desek plošných spojů*

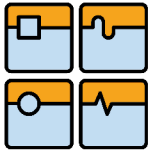
Kompletní model vrtačky byl vytvořen pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2008 CZ, všechny obrázky jsou převzaty z tohoto modelu. Celá výkresová dokumentace byla vytvořena v programu Autodesk AutoCAD 2008 CZ.



## 6 ZÁVĚR

V předešlých kapitolách byly postupně popsány výhody a nevýhody jednotlivých základních prvků CNC obráběcího stroje. Ukázáno bylo konstrukční řešení jednotlivých mechanických částí a byly vybrány vhodné komponenty pro řídicí systém vrtačky. Svou velikostí a vlastnostmi by se dala vrtačka zařadit mezi malé CNC vrtací stroje a její použití je vhodné pouze pro malosériovou a prototypovou výrobu. I když se jedná svou povahou o zařízení určené pro velice speciální a jednoúčelovou práci, ve skutečnosti tomu tak úplně není. Na tomto stroji lze opracovávat i jiné materiály. Svoji konstrukcí se doslova nabízí použití jako gravírovacího stroje či pro frézování měkkých a méně odolných materiálů jako jsou plasty, balsa, překližka atd. Samozřejmě se musejí podle typu obráběného materiálu vhodně zvolit posuvové rychlosti a řezné podmínky.

Cena navrženého zařízení lehce přesahuje hranici 40 tisíc korun. To z něj dělá relativně snadno dostupný stroj a jeho využití by určitě uvítalo spoustu domácích kutilů a modelářů. Své uplatnění by jistě našel i v dílnách středních průmyslových škol a to jak elektrotechnických, tak i strojírenských. V prvním případě by studenti mohli lehce a bezpečně vyrábět desky plošných spojů a v případě druhém lze tento stroj použít pro výuku programování v ISO kódu nebo pomocí navrhovacích systémů CAD/CAM. Naopak je zcela nevhodné využití stroje ve velkosériové výrobě, kde jeho parametry jsou nedostačující a kde se používají zařízení řádově v ceně statisíců.



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Katalog Bosch Rexroth: *Mechanické základní prvky*, vyd. 12.0, 2007. 342 s.
- [2] Igus: *DryLin R – lineární kluzné pouzdro RJUM-01* [online],[cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <<http://www.igus.cz/wpck/default.aspx?PageNr=2407&CL=cz-cs>>
- [3] MM průmyslové spektrum 6/98: *Lineární vodící systémy*, 1998. str. 52, ISSN 1211-6653
- [4] Katalog T.E.A. Technik: *Vodící tyče a kuličková pouzdra*, 2007. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Vodici\\_tyce\\_a\\_kulickova\\_pouzdra.pdf](http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Vodici_tyce_a_kulickova_pouzdra.pdf)>
- [5] CNCshop, Ing. Petr Quis. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <<http://cncshop.cz/>>
- [6] Katalog matis s.r.o.: *Lineární technika*, 2008. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.linearnitechnika.cz/Upload/ClientData/pdf/Linearni\\_technika.pdf](http://www.linearnitechnika.cz/Upload/ClientData/pdf/Linearni_technika.pdf)>
- [7] Katalog T.E.A. Technik: *Lineární vedení ALUROL*, 2007. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Linearni\\_vedeni\\_ALUROL.pdf](http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Linearni_vedeni_ALUROL.pdf)>
- [8] Katalog THK co. ltd.: *Lineární vedení s kuličkovým řetězem - SHS*, 2007. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <<http://www.hennlich.cz/obrazky.php?name=N&id=8936>>
- [9] AUTOMA 8/06: *Přesné pohybové šrouby a lineární krokové aktuátory*, 2006. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31365](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31365)>
- [10] MM průmyslové spektrum 1/01: *Speciální pohybové mechanismy*, 2001. str. 52-53, ISSN 1212-2572
- [11] Katalog T.E.A. Technik: *Trapézové šrouby*, 2009. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/trapez\\_srouby.pdf](http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/trapez_srouby.pdf)>
- [12] Katalog T.E.A. Technik: *Kuličkové šrouby*, 2007. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Kulickove\\_srouby.pdf](http://www.teatechnik.cz/doc/kataogy/Kulickove_srouby.pdf)>
- [13] KRESS-elektrik GmbH a Co.KG: *Operation Instruction 800 FME*, 2008. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <[http://www.kress-elektrik.com/index.php?eID=tx\\_mm\\_bccmsbase\\_zip&id=20635008494a1b136e349df](http://www.kress-elektrik.com/index.php?eID=tx_mm_bccmsbase_zip&id=20635008494a1b136e349df)>
- [14] Berger Lahr – positec. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostpuný z: <<http://www.regulacni-pohony.cz/>>
- [15] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, MM průmyslové spektrum – speciální vydání září 2006. ISSN 1212-2572
- [16] ŘEZÁČ, Kamil. *Robotika.cz, Krokové motory*, 2002. [online], [cit. 25.5.2009]. Dostupný z: <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>





## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1.:	Stolová konstrukce.....	8
Obr. 2.:	Portál s pevným stolem.....	8
Obr. 3.:	Portál s posuvným stolem.....	8
Obr. 4.:	Profil 30x60.....	9
Obr. 5.:	Spojení profilů a připojení podstavce.....	9
Obr. 6.:	Rám vrtačky.....	10
Obr. 7.:	Kluzné vedení.....	10
Obr. 8.:	Kuličkové pouzdro.....	10
Obr. 9.:	Podepřená vodící tyč.....	10
Obr. 10.:	Vedení s rolnami.....	11
Obr. 11.:	Vedení s oběhovými kuličkami.....	11
Obr. 12.:	Uchycení vedení osy X a Y k rámu.....	11
Obr. 13.:	Vedení osy X a Z.....	11
Obr. 14.:	Detail uchycení tyče a kuličkového pouzdra.....	11
Obr. 15.:	Trapézový šroub a matice.....	12
Obr. 16.:	Kuličkový šroub a matice.....	12
Obr. 17.:	Uložení matic pohybového šroubu.....	12
Obr. 18.:	Uložení pohybového šroubu osy X.....	13
Obr. 19.:	Frézovací motor KRESS FME800.....	13
Obr. 20.:	Vřeteno.....	14
Obr. 21.:	Zakrytování horní skříně.....	14
Obr. 22.:	Upínání DPS.....	15
Obr. 23.:	Rozměry krokového motoru Leadshine 57HS22.....	17
Obr. 24.:	Uložení motoru osy Y.....	18
Obr. 25.:	Uložení motoru osy X.....	18
Obr. 26.:	Uložení motoru osy Z.....	18
Obr. 27.:	Schéma řízení krokového motoru.....	19
Obr. 28.:	Momentová charakteristika krokového motoru 57HS22.....	20
Obr. 29.:	Najetí na referenční bod osy X.....	22
Obr. 30.:	Pohled na odkrytovanou vrtačku.....	22
Obr. 31.:	Otevřená spodní skříně.....	23
Obr. 32.:	Vedení kabelů do horní skříně a ovladač.....	23
Obr. 33.:	Zadní část horní skříně a ovladač.....	24
Obr. 34.:	Řídící obrazovka softwaru Mach3 ArtSoft USA.....	25
Obr. 35.:	Vrtačka desek plošných spojů.....	30
Tab. 1.:	Minimální kroutící moment krokového motoru.....	16
Tab. 2.:	Elektrické parametry krokového motoru Leadshine 57HS22.....	17



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Tab. 3.:	Parametry driveru Leadshine ME742.....	20
Tab. 4.:	Parametry oddělovací desky CNC I/O Board B1_v.1.....	21
Tab. 5.:	Parametry zdroje PS500/70.....	22
Tab. 6.:	Základní vlastnosti softwaru Mach3.....	24
Tab. 7.:	Minimální hardwarová konfigurace PC.....	24
Tab. 8.:	Parametry polohovacích prvků.....	26
Tab. 9.:	Max. příkon vrtačky.....	26
Tab. 10.:	Hlavní parametry vrtačky DPS.....	27
Tab. 11.:	Ceny jednotlivých komponent a celková cena vrtačky.....	29



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**9 SEZNAM PŘÍLOH**

2-VUT-UVSSR-00-00	VRTAČKA DPS
2-VUT-UVSSR-00-00-K	1x seznam položek
2-VUT-UVSSR-01-00	RÁM
2-VUT-UVSSR-01-00-K	3x seznam položek
3-VUT-UVSSR-02-00	STŮL
3-VUT-UVSSR-02-00-K	1x seznam položek
3-VUT-UVSSR-03-00	PŘÍČNÝ POSUV
3-VUT-UVSSR-03-00-K	2x seznam položek
4-VUT-UVSSR-04-00	OVLADAČ
4-VUT-UVSSR-04-00-K	1x seznam položek
4-VUT-UVSSR-05-00	UPÍNKA
4-VUT-UVSSR-05-00-K	1x seznam položek
3-VUT-UVSSR-01-01	SLOUP PRAVÝ
3-VUT-UVSSR-01-02	SLOUP LEVÝ
4-VUT-UVSSR-01-03	UCHYCENÍ MOTORU Y
4-VUT-UVSSR-01-04	UCHYCENÍ MOTORU X
4-VUT-UVSSR-01-05	UCHYCENÍ VEDENÍ Y PŘEDNÍ
4-VUT-UVSSR-01-06	UCHYCENÍ VEDENÍ Y ZADNÍ
4-VUT-UVSSR-01-07	KRYT ELEKTRONIKY HORNÍ
4-VUT-UVSSR-01-08	KRYCÍ VÍČKO X
4-VUT-UVSSR-01-09	KRYCÍ VÍČKO Y
4-VUT-UVSSR-01-10	VZPĚRA HORNÍ
4-VUT-UVSSR-01-11	VZPĚRA SPODNÍ
4-VUT-UVSSR-01-12	OPĚRNÝ KROUŽEK
4-VUT-UVSSR-01-13	DISTANČNÍ SLOUPEK
4-VUT-UVSSR-01-14	TRAPÉZOVÝ ŠROUB X Tr 12x3
4-VUT-UVSSR-01-15	TRAPÉZOVÝ ŠROUB Y Tr 12x3
4-VUT-UVSSR-02-01	UPÍNACÍ DESKA
4-VUT-UVSSR-02-02	UCHYCENÍ POZDER Y PŘEDNÍ
4-VUT-UVSSR-02-03	UCHYCENÍ POUZDER Y ZADNÍ
4-VUT-UVSSR-02-04	SPOJKA PROFILŮ
4-VUT-UVSSR-03-01	UCHYCENÍ VŘETENA
4-VUT-UVSSR-03-02	VOZÍK Z
4-VUT-UVSSR-03-03	UCHYCENÍ POUZDER Z

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

4-VUT-UVSSR-03-04	KRYCÍ VÍČKO Z
4-VUT-UVSSR-03-05	UCHYCENÍ MOTORU Z
4-VUT-UVSSR-03-06	VOZÍK X
4-VUT-UVSSR-03-07	UCHYCENÍ VEDENÍ Z SPODNÍ
4-VUT-UVSSR-03-08	TRAPÉZOVÝ ŠROUB Z Tr 12x3
4-VUT-UVSSR-04-01	ZÁKLAD OVLADAČE
4-VUT-UVSSR-04-02	KRYT OVLADAČE
4-VUT-UVSSR-05-01	OPĚRKA
4-VUT-UVSSR-05-02	ČELIST
4-VUT-UVSSR-05-03	ŠROUB

