

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

# Souřadnicová CNC vrtačka

Drilling CNC machine

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. MICHAL DRLÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. TOMÁŠ MARADA, Ph.D.**

BRNO 2011







## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem a realizací CNC vrtačky. Zaměření této práce je rozděleno na tři části. Návrh mechanické konstrukce a návrh elektrického schématu a jeho realizace pomocí průmyslových součástí. Návrh exportu dat z aplikace pro návrh plošných spojů EAGLE do formátu G-KÓD. Celý proces má výrazně zefektivnit vyvrtávání desek s plošnými spoji popřípadě jejich celou výrobu a zvýšit kvalitu a přesnost celé práce.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with designing and realization of a CNC drill. The body of the thesis is divided into three parts: Firstly, a design of a mechanical construction, secondly, an electronic scheme with its realization using industrial components and lastly, a design of a data export from an application for DPS EAGLE designing to G-KOD formate. The whole process should make drilling of plates with DPS or eventually the whole plate manufacturing more efficient and the quality and accuracy of a whole work should increase.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych především poděkovat panu Ing. Tomáši Maradovi, Ph.D., který mi byl nápomocen při návrhu stroje, dal mi cenné informace a věnoval mi svůj osobní čas při realizaci. Dále děkuji společnosti Prosoton, s.r.o, které mně umožnily zadaný projekt realizovat.



## OBSAH:

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Historie</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Úvod do CNC strojů</b> .....	<b>13</b>
	3.1 Základní rozlišení .....	13
	3.2 Výhody a nevýhody.....	13
<b>4</b>	<b>Realizace mechanické části</b> .....	<b>15</b>
	4.1 Inspirace .....	15
	4.2 Mechanické komponenty použité u CNC strojů.....	17
	4.2.1 Posuvové lineární soustavy .....	17
	4.2.2 Přímočarý pohyb .....	19
	4.2.3 Vřeteno .....	20
	4.3 Pohon jednotlivých os .....	22
	4.3.1 Požadované parametry.....	22
	4.4 Volba konstrukce.....	23
	4.5 Stůl .....	24
	4.6 Osa X.....	25
	4.7 Osa Y.....	30
	4.8 Osa Z .....	32
	4.9 Vřeteno .....	33
<b>5</b>	<b>Realizace elektrické části</b> .....	<b>35</b>
	5.1 Požadované parametry.....	35
	5.2 Inspirace .....	35
	5.3 Elektrické komponenty.....	36
	5.3.1 Řídicí systém.....	36
	5.3.2 Motory.....	37
	5.3.3 Lineární odměřování polohy .....	39
	5.3.4 Koncové prvky .....	41
	5.3.5 Krytování kabeláže .....	43
	5.4 Řízení pohybu stroje.....	45
	5.4.1 Blokové schéma .....	46
<b>6</b>	<b>Realizace řídicího systému</b> .....	<b>47</b>
	6.1 Požadované parametry.....	47
	6.2 Inspirace .....	47
	6.3 Volba řídicího systému.....	48
	6.4 G-kódy.....	62
	6.5 Příklad generování G-kódu.....	64
<b>7</b>	<b>Program EAGLE</b> .....	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Cenová kalkulace</b> .....	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Uvádění do provozu</b> .....	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>Použitá literatura</b> .....	<b>81</b>
<b>12</b>	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>85</b>





# 1 Úvod

Vývoj číslicové techniky a mechanických komponent probíhají v několika etapách a neustále je co zlepšovat. Nasazení nových automatizačních dílů do výroby může být jedna z cest, jak ustát konkurenční boj. Neustále je hledána cesta, jak vyrábět rychleji, levněji a efektivněji. Pomocí CNC strojů je řešení efektivní z hlediska opakovatelnosti výroby. Jednotlivé díly jsou kresleny v CAD formátu a pomocí překladače CAD/CAM je možné přímo díl exportovat do G-kodu, který přesně popisuje strojové pozice výrobku. Je tedy značně ušetřen čas na přípravu programu. Významný pokrok v CNC systémech je automatická výměna nástroje, která výrazně přidává na efektivitě výroby.

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace CNC vrtačky. Zaměření práce je na mechanickou konstrukci, návrh elektrického vybavení stroje a jeho řízení. Požadavky CNC vrtačky jsou především pro automatické vrtání desek plošných spojů. Z programu EAGLE, který slouží k návrhu desek plošných spojů je generovaný G-kod jednotlivých otvorů desky. Tento kód je dále zpracován do PC, který je součástí CNC vrtačky.

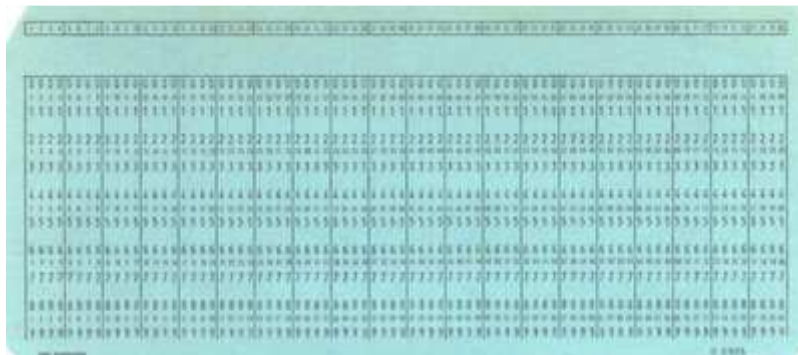
Při návrhu mechanické a elektrické konstrukce je s návrhem počítáno na další etapu vývoje. Sestava musí být natolik tuhá, aby zařízení bylo schopné v další etapě obrábět měkké materiály, plasty, dřevo a lehké kovové slitiny. Na tuto část rovněž navazuje i elektrické vybavení stroje a jeho softwarové možnosti. Elektrický systém je řešen pomocí modulárního PLC-cupler, kde hlavní Real-time úloha je spuštěná v nadřazeném počítači. Jedná se o běžný počítač vybavený klávesnicí, monitorem, tiskárnou a zároveň slouží k řízení stroje.

Výsledkem této práce je návrh a realizace elektrického vybavení stroje, softwarové řešení a ekonomické zhodnocení celé výroby.



## 2 Historie

První CNC (Computer Numeric Control) byly vyvinuty v 50. letech minulého století v USA. Před nástupem numerického řízení bylo používáno mechanických šablon, které zastavovaly koncové spínače jednotlivých posuvů. Postupně tyto zarážky nahradily analogové regulátory. Tyto obvody byly řízeny pomocí děrných štítků. Děrné štítky byly vytvořeny z tenkého kartonu, na kterém byla umístěna bitová informace. Tato informace byla vytvořena pomocí otvorů (obr. 1). Jednotlivé otvory představovaly matice. Každý štítek obsahoval 80 otvorů (bitů).



Obr. 1: Děrný štítek [20]

**1950** – Hydromotory jako pohony pro jednotlivé posuny os a supportů. Postupně začínají nastupovat elektrické motory. Odměřování se provádělo opticky. Nastupují stroje řízené magnetickým záznamem.

**1960** – První obráběcí centrum, které obrábí nerotační součástky. Nastupují stroje s tranzistorovým řízením.

**1970** – Převod rotačního na lineární pohyb řešen kuličkovým šroubem. První výroba velkého soustružnického centra. Koncem 70. let se objevují první CNC systémy řízené počítači.

**1980** – Konstrukce strojů má aplikované senzory na pohyb jednotlivých ramen. Stroje začínají mít výměníky nástrojů. Řídicí systémy jsou založeny na bázi CNC/PLC.

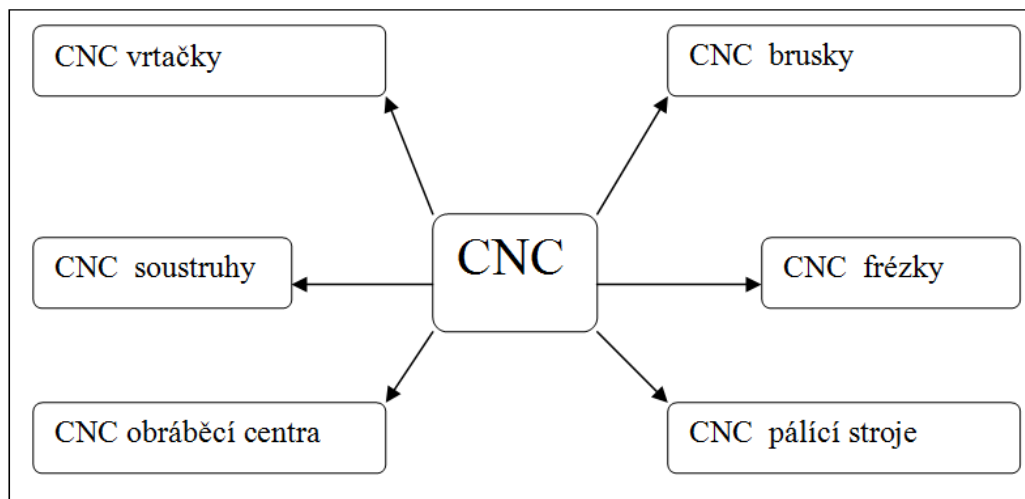
**1990** – Řešení velkokapacitních zásobníků na obrobky i na nástroje. Zvyšuje se kvalita obrábění. Větší dynamika stroje – zkrácení strojového času, má velký vliv na ekonomiku.



## 3 Úvod do CNC strojů

### 3.1 Základní rozlišení

CNC stroje rozdělujeme do šesti základních odvětví. Každý stroj je specializovaný na určitý okruh výroby a má jiné technické požadavky.



Obr. 2: Rozdělení strojů

### 3.2 Výhody a nevýhody

*Mezi nejhlavnější výhody CNC strojů patří:*

- zvýšení produktivity výroby
- zvýšení kvality výrobků
- zvýšení přizpůsobivosti výroby
- zvýšení využití strojů
- úspora výrobních a skladových ploch
- minimalizace používání přípravků
- zlepšení pracovních podmínek
- zkrácení průběžné doby výroby
- podstatné zjednodušení agendy náhradních dílů
- omezení seřizování a automatický průběh – z toho plynoucí možné chyby obsluhy
- součásti, které se dají popsat matematicky, nemusí se kreslit na výkres
- snížení požadavků na kvalifikaci obsluhy

*Mezi nevýhody CNC strojů patří:*

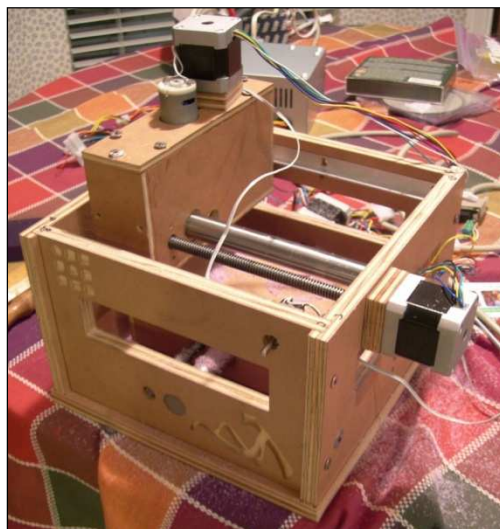
- zvýšení pořizovací ceny
- zvýšené nároky na technologickou přípravu
- zvýšené nároky na údržbu a kvalifikaci údržby
- zvýšené nároky na organizaci



## 4 Realizace mechanické části

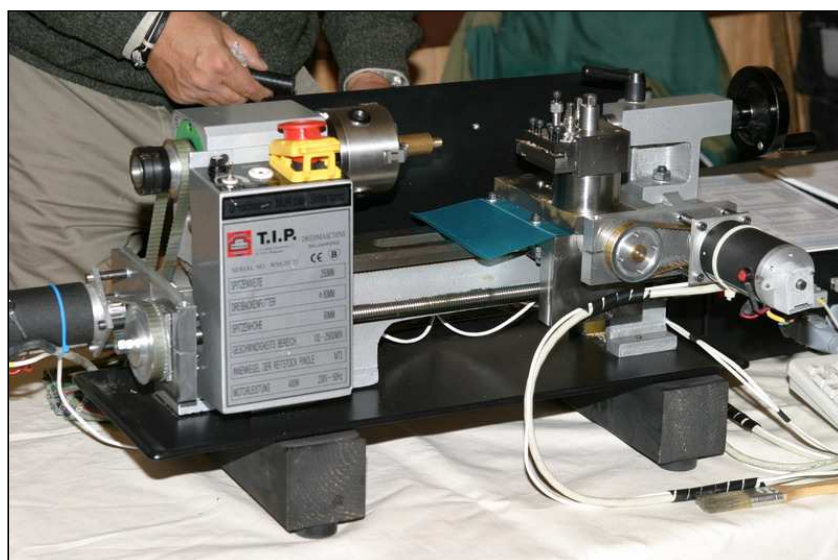
### 4.1 Inspirace

Při výběru konstrukce stroje jsem se inspiroval na internetovém fóru [www.c-n-c.cz](http://www.c-n-c.cz), kde jsem načerpal zkušenosti od mých kolegů. Diskusní okruhy jsou rozděleny na dvě pomyslné roviny. Jedna se zabývá spíše amatérskými stroji (obr. 3), kde použité komponenty jsou ze starších tiskáren a plotterů. Konstrukce těchto strojů jsou mnohdy vyrobeny ze dřeva či tvrzených plastů. Jsou to stroje, které nevyžadují příliš velkou přesnost a jejich použití bude spíše pro modelářskou činnost.



Obr. 3: Dřevěný CNC stroj [21]

Další okruh techniků řeší přestavbu stávajících manuálních strojů na stroj numericky řízený (obr. 4). Na každou manuální osu je osazen motor se snímačem polohy. Ty jsou pak řízeny pomocí počítače.



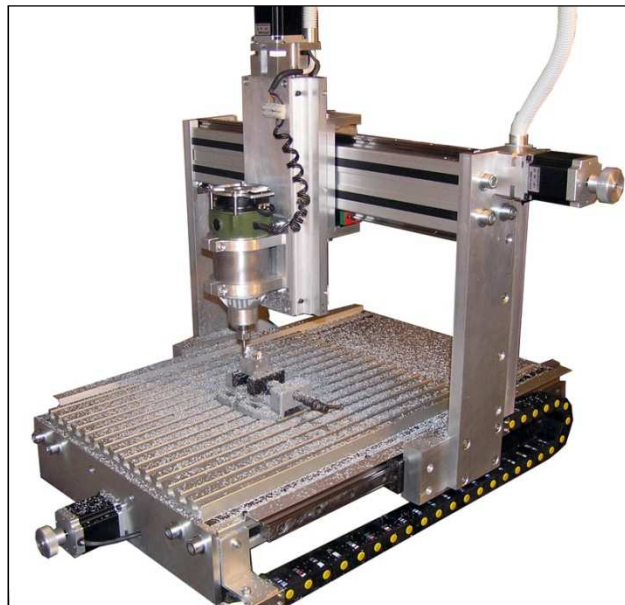
Obr. 4: Numericky řízený stroj [22]

Pro aplikaci CNC frézky je možné volit dvě následující mechanické konstrukce. Stroj se stacionárním portálem a pohyblivým obráběcím stolem (obr. 5) - je vhodný pro vrtání desek s plošnými spoji, popřípadě obrábění drobných lehkých dílů, kde nejsou kladeny nároky na mechanické zatížení jednotlivých os. Pokud by měl vložený materiál vyšší hmotnost, docházelo by k možnému průhybu stolu a změnám dynamických vlastností osy X.



*Obr. 5: CNC s pevným portálem [23]*

Další možností jsou stroje s pohyblivým portálem a stacionárním obráběcím stolem (obr. 6). Výhodou této koncepce je možnost uchycení obrobku vyšší hmotnosti. Nevýhodou je složitější elektroinstalace k osám Y, Z, které jsou u této aplikace pohyblivé oproti předchozí konstrukci.



*Obr. 6: CNC s pohyblivým portálem [24]*



## 4.2 Mechanické komponenty použité u CNC strojů

### 4.2.1 Posuvové lineární soustavy

Přímočarý pohyb jednotlivých os může být realizován pomocí kluzných tyčí (obr. 7). Tato varianta lineárního posuvu je řešena spíše na strojích, kde nejsou vyžadovány velké posuvy. Posuvná pouzdra, kde jsou odvalovány kuličky, se odvalují po vodících tyčích, tímto je zaručen pohyb s minimálním třením. Vodicí tyče jsou dodávány v tolerancích h6 a jsou dodávány ve třech variantách: kalené, broušené a nerezové.



Obr. 7: Kluzné tyče [41]

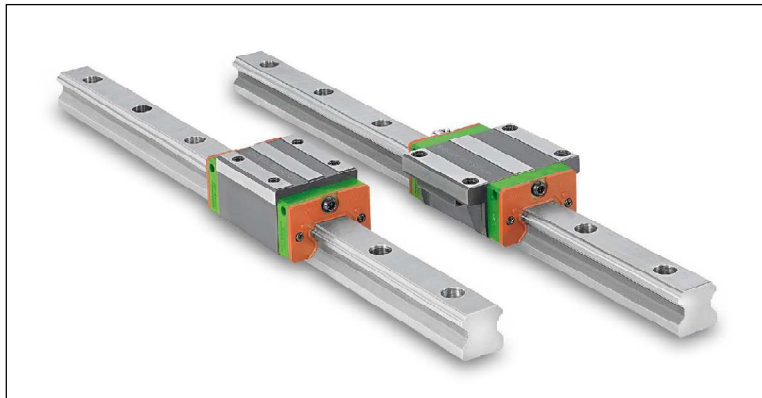
Kluzné tyče jsou používány na strojích, kde není velké momentové namáhání. Při velkém zatížení tohoto vedení je možný průhyb tyče. Typickou aplikací je CNC vrtačka, kde je namáhání minimální.

Další realizací možného lineárního pohybu jsou podepřené tyče (obr. 8). Jedná se o stejný princip konstrukce. Podpora, která je umístěna pod tyčí, kompenzuje možný průhyb tyče.



Obr. 8: Podepřené kluzné tyče [41]

Lineární vedení je jedna z nejpoužívanějších konstrukcí přímočarého pohybu (obr. 9). Už v roce 1978 bylo vyrobeno první profilové vedení od firmy THK. Jako valivé komponenty jsou zde použity buď válečky, nebo kuličky. Kuličky nebo válečky obíhají na broušených a kalených drahách vozíku kolejnice. Díky konstrukci vozíku a dráhy vedení jsou zachyceny síly ve vertikálním a horizontálním směru.



Obr. 9: Lineární vedení HIWIN [11]

Válečkové vedení je používáno spíše pro větší zatížení. Kuličkové vedení je používáno spíše u rychloběžných aplikací. Mezi výhody lineárního vedení patří:

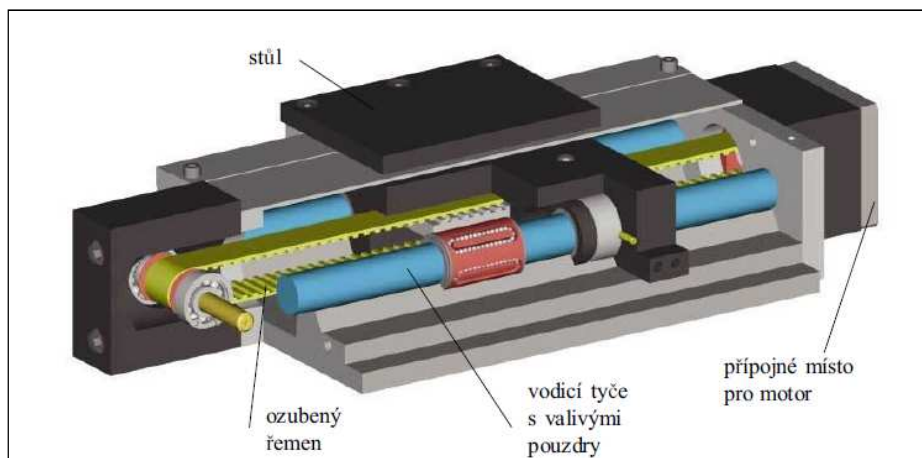
- bezvúlový chod
- snadná instalace
- vysoké posuvné rychlosti
- vysoká přesnost polohování
- minimální pružné deformace
- snadná údržba
- velká životnost

Mezi nevýhody patří:

- vysoká pořizovací cena
- náročnost na přesné uložení

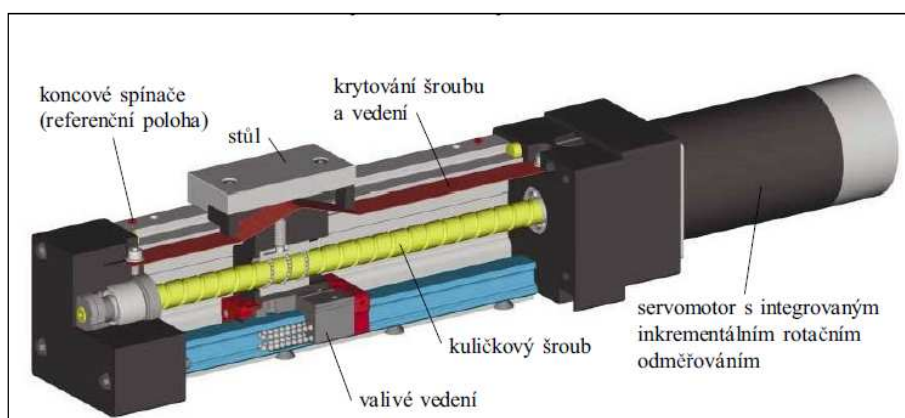
## 4.2.2 Přímočarý pohyb

Posun jednotlivých ramen stroje je konán přeměnou rotačního pohybu motoru na pohyb přímočarý. Existuje několik možností realizace tohoto pohybu. Jedna z možností je realizace pomocí ozubeného řemene (obr. 10). Velkou předností řemene je jeho tichý chod a samomaznost. Mezi nevýhody řadíme pružnost řemene, jeho délkovou nestálost. Délková nestálost je příčinou porušování tahových vláken. Z tohoto důvodu je nutné řemeny preventivně měnit.



Obr. 10: Posuv pomocí ozubeného řemene [17]

Jednou z nejpoužívanějších konstrukcí u přesných malých průmyslových strojů je pohyb s kuličkovým šroubem (obr. 11). Výhradně se používá u frézek, vrtaček a lisů. Tento pohyb je možné realizovat s účinností až 98 %. Další předností je vysoká životnost díky minimálnímu valivému odporu.

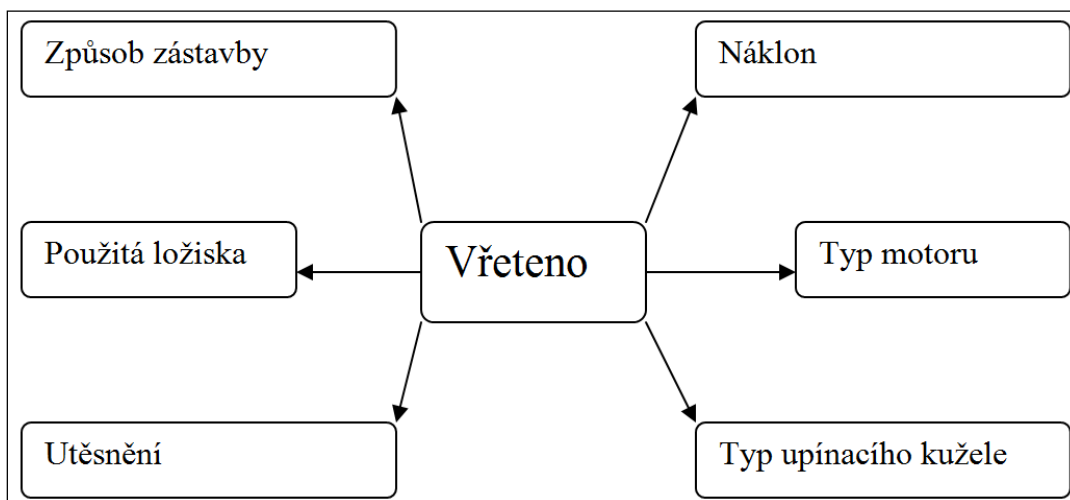


Obr. 11: Posuv pomocí kuličkového šroubu [17]

Kuličkové šrouby od společnosti HIWIN jsou vyráběny ve třídách přesnosti 0,006, 0,012 a 0,023 u broušeného závitu. U válcovaných závitů jsou udávány přesnosti 0,023 a 0,052. Kuličkové šrouby jsou většinou vyráběny z oceli 14260 a matice pak z materiálu 14019 a 14029. Stoupání šroubu je 5 mm na jednu otáčku šroubu.


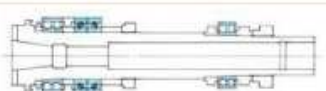
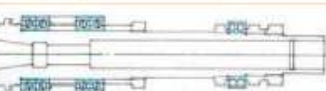







### 4.2.3 Vřeteno

Vřeteno stroje je jednou ze základních komponent stroje. Na kvalitě vřetena závisí kvalita celého obrobku. Při výběru vřetena je zapotřebí zohlednit několik základních atributů (obr. 12).



Obr. 12: Rozdělení vřetene

Vřetena jsou ukládána do dvou radiálních a jednoho axiálního valivého ložiska. Výběr správného vřetene pro danou aplikaci je vázán na třídy přesnosti ložisek (obr. 13).

Typ	Uspořádání ložisek	Charakteristika [%]					Úžiti
		Axiální tuhost	Radiální tuhost	Otáčky	Přesnost	Radiální zatížení	
I.		100	100	100	100	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• soustruhy</li> <li>• frézky</li> <li>• vrtáčky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>
		66	100	118	100	100	
II.		57	85	155	160	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• soustruhy</li> <li>• frézky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>
		81	58	155	160	110	
		81	66	180	160	100	
		60	61	230	160	85	
III.		21	55	360	160	50	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vrtáčky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>
		21	55	360	160	50	
III.		120	120	100	90	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>• velké soustruhy</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>
IV.		50	60	300	160	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• obráběcí centra</li> </ul>

Obr. 13: Volba ložisek pro vřeteno [42]

Pohon vřetene rozdělujeme podle maximálních otáček a maximálního výkonu. Většinou jsou vřetena řešená pomocí DC nebo asynchronních motorů.

Asynchronní motor je řízen pomocí frekvenčního měniče. Vzhledem k tomu, že na motoru jsou při obrábění sníženy otáčky díky odporu obrábění, je na hřídeli umístěn IRC snímač, který má okamžitou informaci o počtu otáček vřetena. Tato zpětná vazba vytváří servosmyčku a tím skluz na motoru kompenzuje. Tyto motory obecně dosahují maximálních otáček kolem 30 000 ot/min.

## 4.3 Pohon jednotlivých os

### 4.3.1 Požadované parametry

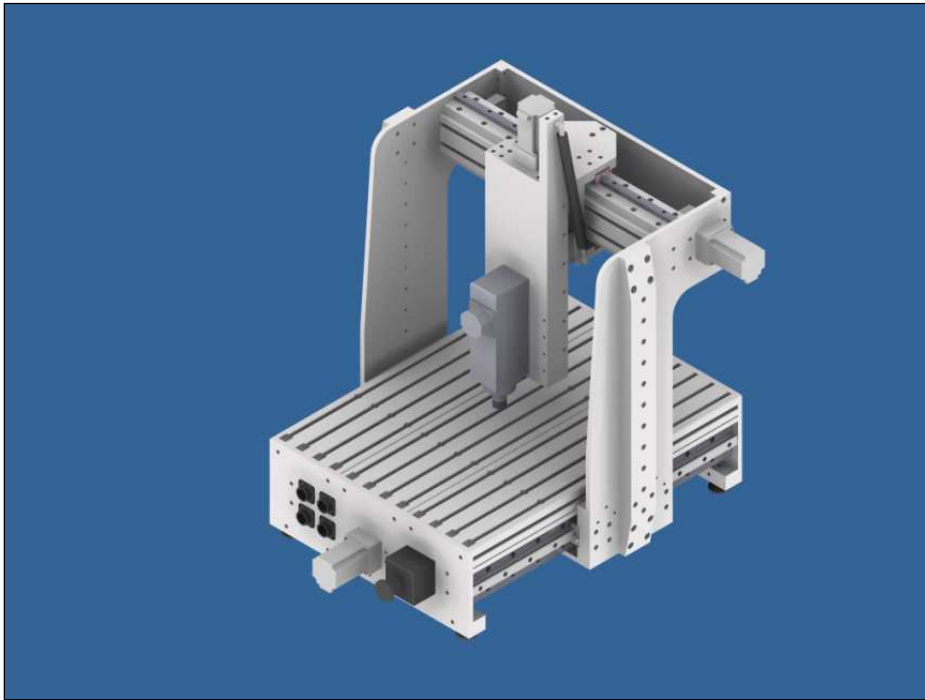
Konstrukce, která by pouze vrtala desky plošných spojů, by kladla výrazně nižší nároky na mechanickou konstrukci celého stroje. Na stroji bude v budoucnu realizováno frézování lehkých slitin. Z tohoto důvodu je požadována následující konfigurace stroje - viz tab. 1.

Rozměry pracovního stolu	(660 x 480)mm
Výška pracovního stolu	197mm
T-drážky počet	12ks
T-drážky velikost	8mm
Rozsah posuvu osa X	640mm
Rozsah posuvu osa Y	450mm
Rozsah posuvu osa Z	200mm
Rychloposuv osa X	50mm/s
Rychloposuv osa Y	50mm/s
Rychloposuv osa Z	50mm/s
Maximální velikost obrobku	(438 x 383 x 260)mm
Prostor pod vřetenem	240mm
Otáčky vřetene	24000ot. / min.
Výkon vřetene	750W
Upínání nástrojů	ER 16
Elektrické připojení	230V / 50Hz
Rozměry (Š x V x H)	(814 x 1019 x 710)mm

Tab. 1: Parametry stroje

## 4.4 Volba konstrukce

Frézka (obr. 14) byla navržena s pohyblivým portálem a stacionárním obráběcím stolem. Toto řešení má výhodu v tom, že materiál o vyšší hmotnosti neovlivní dynamiku stroje při procesu obrábění a tím také nastavení regulátorů polohy. Konstrukce stroje je z velké části sestavena z hliníkových profilovaných prefabrikátů. Jejich výhodou je dobrá dostupnost a jejich dostatečná tuhost.



*Obr. 14: Návrh konstrukce stroje*

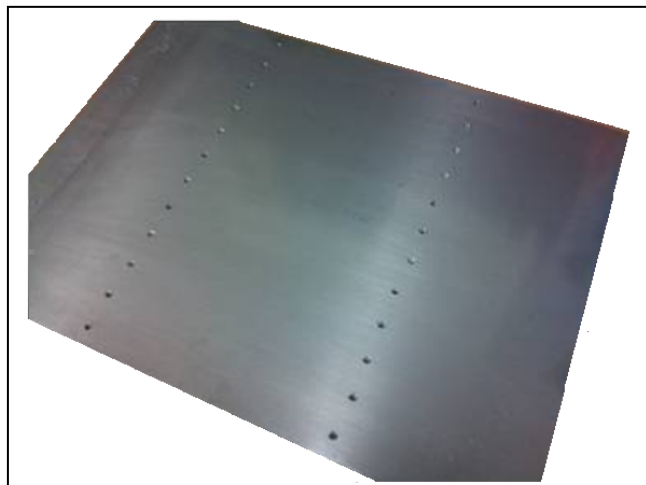
Návrh stroje je modelován programem Autodesk Inventor, ve kterém je možné výrobek namodelovat v 3D rozměru. Velkou výhodou je zobrazení celého modelu a zjištění jednotlivých materiálových kolizí.

## 4.5 Stůl

Pracovní stůl má rozměry 640x480mm a je složen ze tří kusů profilu ITEM Profile 8 160x40 (obr. 15). Tyto tři profily jsou upevněny na hliníkové desce o síle 10mm (obr. 16), čímž vznikne velmi tuhá a přesná sestava. Horní T drážky profilů ITEM slouží pro vložení upevňovacích šroubů a následné uchycení svěráku s obrobkem.



*Obr. 15: Hliníkový profil ITEM 160x40 [39]*

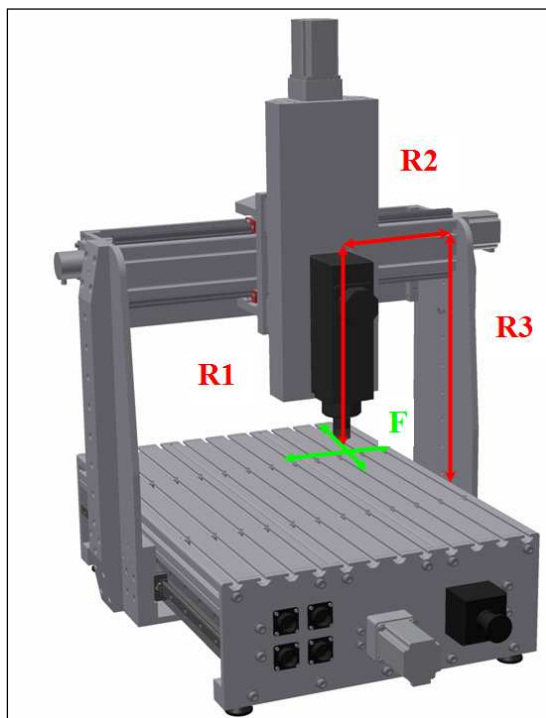


*Obr. 16: Základová hliníková deska*



## 4.6 Osa X

Dalším důležitým faktorem je tuhost ramene pojezdu X. Vzhledem k velké síle, která je vyvolána na konci vřetena, je nutné zajistit patřičnou tuhost zařízení. Síla  $F$ , na které závisí přesnost celého frézování, působí na ramenech R1,R2,R3, viz (obr. 17). Vytváří tak různé druhy namáhání. Osa Z je nejvíce namáhána v místě spojení s portálem. Tato síla působí na rameni R1 a vytváří namáhání na krut portálu R2 a také v místě spojení se stojnou. Na rameni R3 rovněž namáhá spojení se stolem. Výsledná tuhost soustavy je ovlivněná tuhostí jednotlivých ramen R1,R2,R3. Čím je dráha delší, tím je tuhost horší. Výchyvky jednotlivých ramen se sčítají.



Obr. 17: Působící síly

Základní parametry jsou:

Osa X	
typ motoru	103H7126-1941
moment motoru	2,2 Nm
počet kroků/ot	200 kroků/ot
typ snímače	E6B2-C
IRC počet imp/ot	2000 imp/ot
typ ložiska axiální 01	SKF 7200
typ ložiska axiální 02	SKF 7200
typ ložiska radiální	SKF 6200
stoupání kuličkového šroubu	4 mm/ot
maximální délka posuvu	50 mm/s
typ koncových spínačů	P-B182N

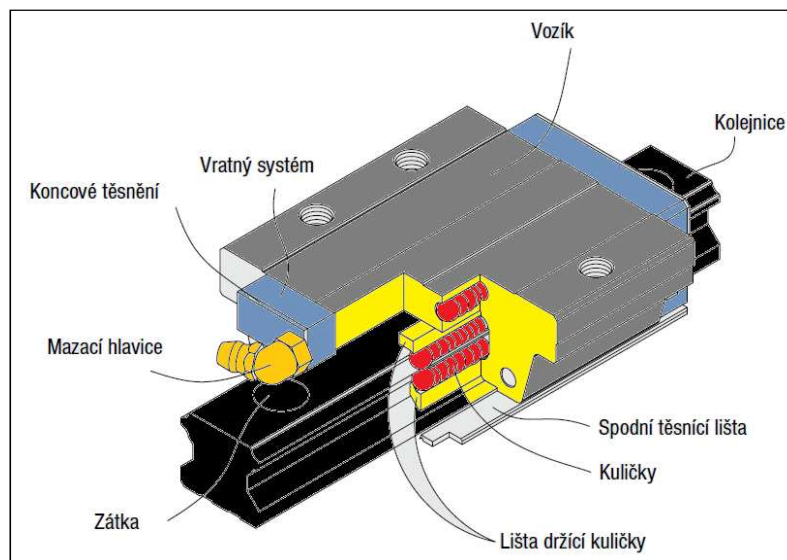
Tab. 2: Parametry osy X

Realizace posunu osy X je řešena pomocí lineárního vedení od firmy Hiwin (obr. 18). Pomocí lineárního pohybu je možné realizovat velmi přesný přímočarý pohyb.



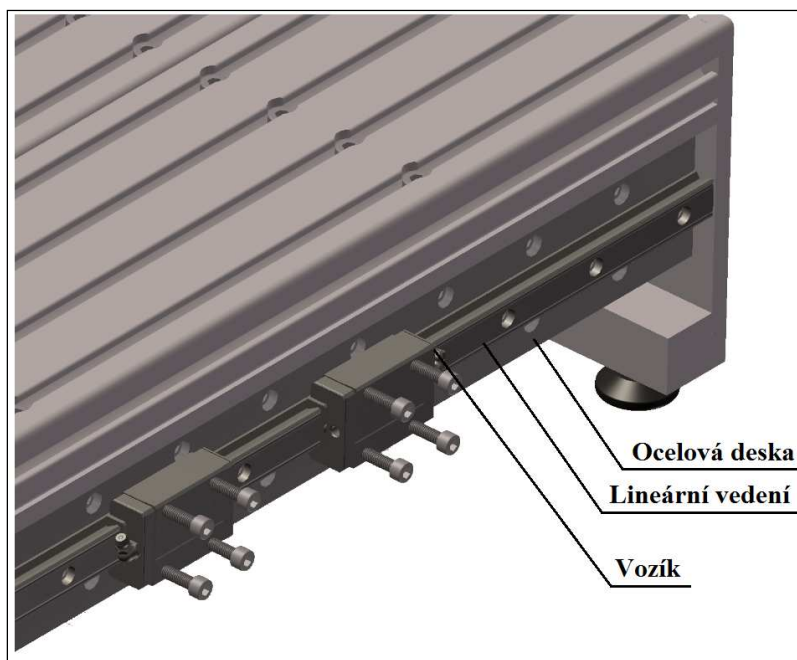
Obr. 18: Lineární vedení HIWIN [11]

Kuličky ve vozíku obíhají kolem lineárního vedení a tím zaručují dokonalé vedení s minimálním třením (obr. 19). Tyč lineárního vedení je vyrobena z kvalitní kalené oceli. U obou částí lineárního vedení je kladen velký důraz na přesnost. Díky tomu je také vysoká pořizovací cena. Kuličky nebo válečky obíhají v broušených a kalených drahách vozíku a kolejnice. Značnou výhodou je velmi malý valivý odpor a velká tuhost celé sestavy.



Obr. 19: Detail vozíku lineárního vedení [11]

Lineární vedení je usazeno do ocelové desky (obr. 20). Tato celá sestava je poté šroubována k základnímu stolu stroje. Tato sestava umožňuje seřízení náklonu stroje na ose X.

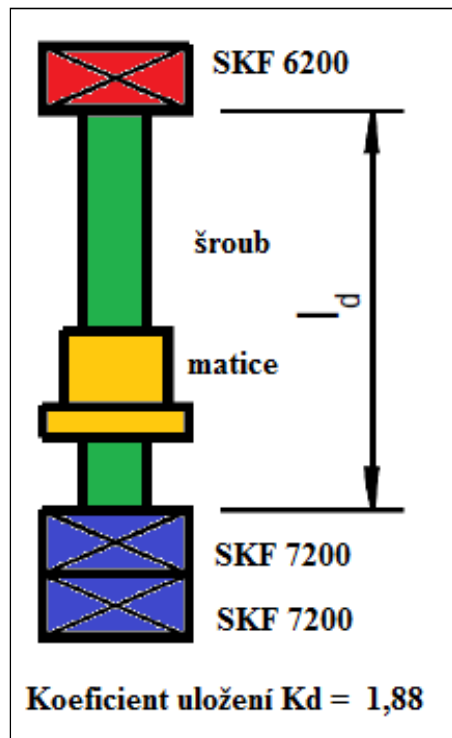


Obr. 20: Umístění lineárního vedení

Pro realizaci přeměny rotačního na pohyb přímočarý je použit kuličkový šroub o průměru 16 mm se stoupáním 5 mm (obr. 21). Jeho účinnost se pohybuje kolem 98 %. Použitý šroub je vyroben společností Hiwin , která je známá na českém trhu dobrou cenou i kvalitou. Kuličkový šroub se vyznačuje bezvúlovým chodem. Díky technickému řešení je možné šroub používat i ve vyšších otáčkách.



Obr. 21: Kuličkový šroub [25]

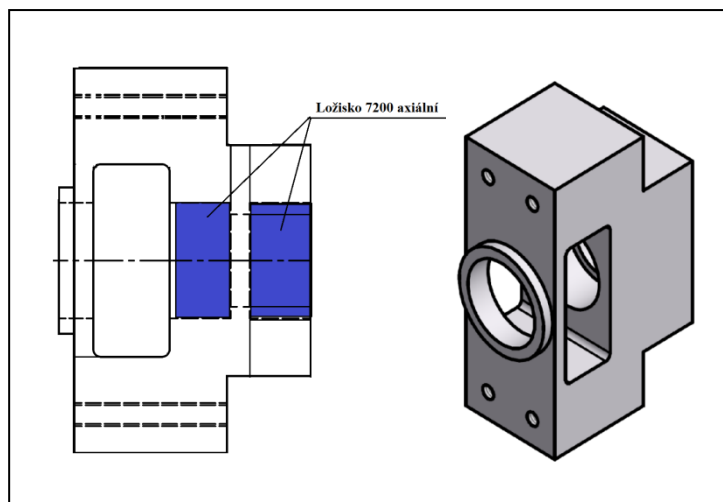


Obr. 22: Uchycení kuličkového šroubu [11]

Uložení šroubu je realizováno kosoúhlými ložisky na jedné straně (obr. 23), které vymezují axiální sílu. Je použito kosoúhlé ložisko typu SKF 7200. Ložisko s kosoúhlým stykem přenáší axiální sílu pouze v jednom směru. Aby byl vymezen pohyb v obou směrech, jsou zde použita ložiska dvě.



Obr. 23: Ložisko SKF 7200 [15]

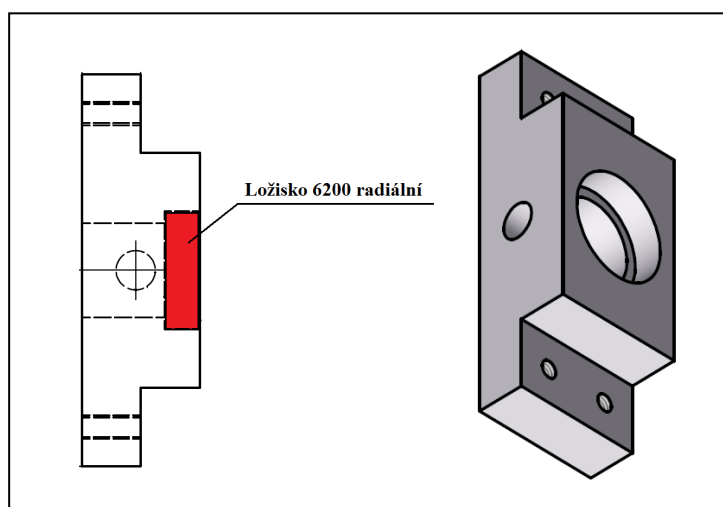


Obr. 24: Uchycení ložiska v ložiskovém domku

Na druhé straně šroubu je umístěno ložisko SKF 6200, které vymezuje sílu radiální. Ložiska jsou umístěna v ložiskových domcích a jsou upevněna na bočnicích stroje (obr. 25).



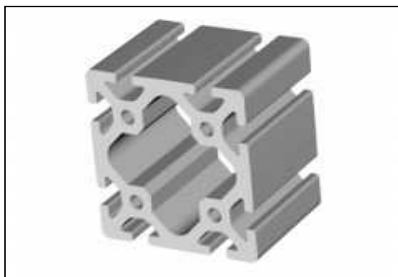
Obr. 25: Ložisko SKF 6200 [15]



Obr. 26: Uchycení ložiska v ložiskovém domku

## 4.7 Osa Y

Vzhledem k velké síle, která je vyvíjena během procesu obrábění při navrženém vyložení vřetene, je nutné zajistit patřičnou tuhost pohyblivého portálu a os Y a Z. Pohyblivý portál je realizován dvěma bočnicemi o tloušťce 10 mm, které jsou zpevněny výztuhou o šíři 60 mm a tloušťce 30 mm. Střed portálu je tvořen profilem ITEM Profile 8 o rozměrech 80 x 80 mm o délce 533 mm (obr. 27).



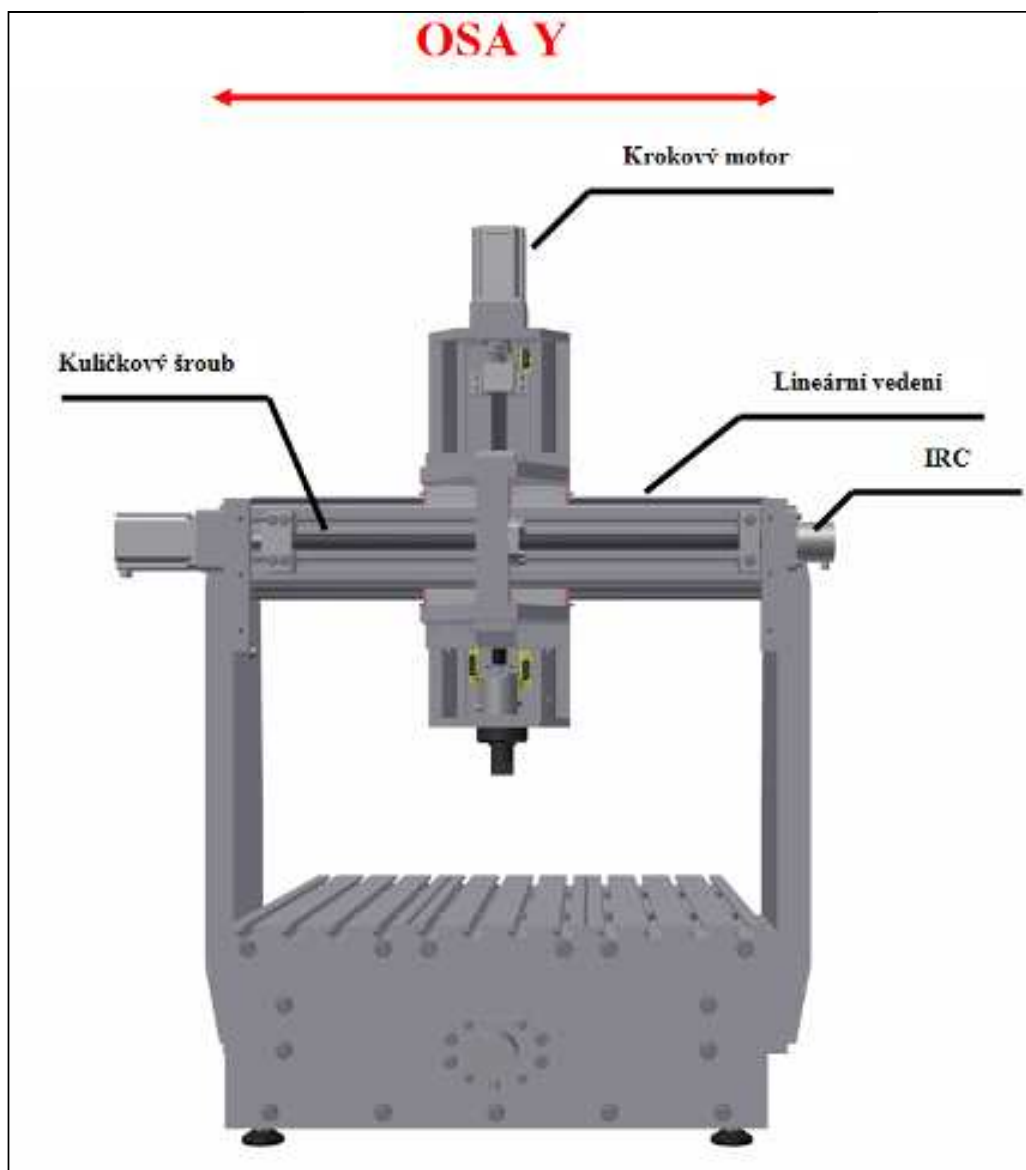
Obr. 27: Hliníkový profil ITEM 80x80 [39]

Základní parametry jsou:

Osa Y	
typ motoru	103H7126-1941
moment motoru	2,2 Nm
počet kroků/ot	200 kroků/ot
typ snímače	E6B2-C
IRC počet imp/ot	2000 imp/ot
typ ložiska axiální 01	SKF 7200
typ ložiska axiální 02	SKF 7200
typ ložiska radiální	SKF 6200
stoupání kuličkového šroubu	5 mm/ot
maximální délka posuvu	50 mm/s
typ koncových spínačů	P-B182N

Tab. 3: Parametry osy Y

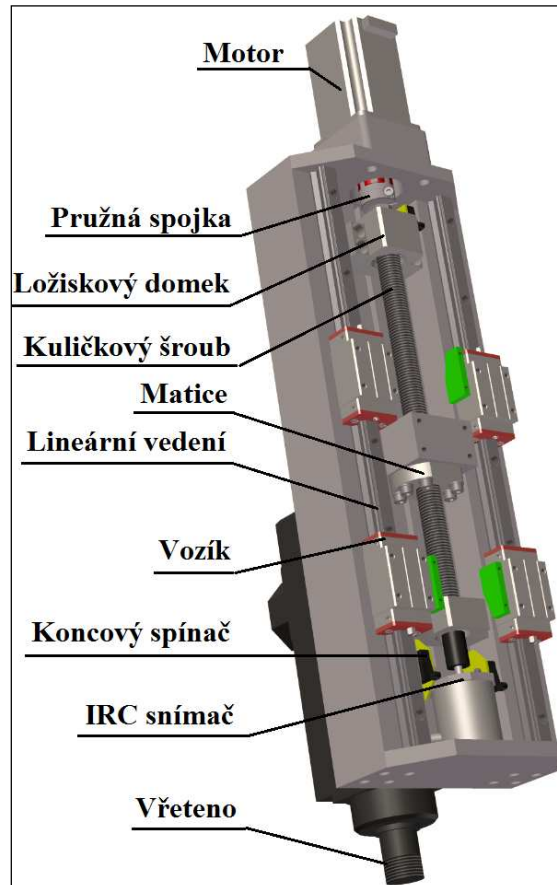
Použité komponenty jsou navrženy stejné konfigurace jako u osy X z důvodů stejné dynamiky všech os.



Obr. 28: Popis osy Y

## 4.8 Osa Z

Osa Z je tvořena z jednoho kusu hliníku o rozměrech 150 x 50 x 400 (obr. 29), do které jsou vloženy lineární vedení, koncové spínače, IRC snímač a další prvky. Na rubu této osy je umístěno vřeteno stroje. Velikost 400 x 150 mm je dostatečně velká pro vřeteno do 1 kW.



Obr. 29: Popis osy Z

Základní parametry jsou:

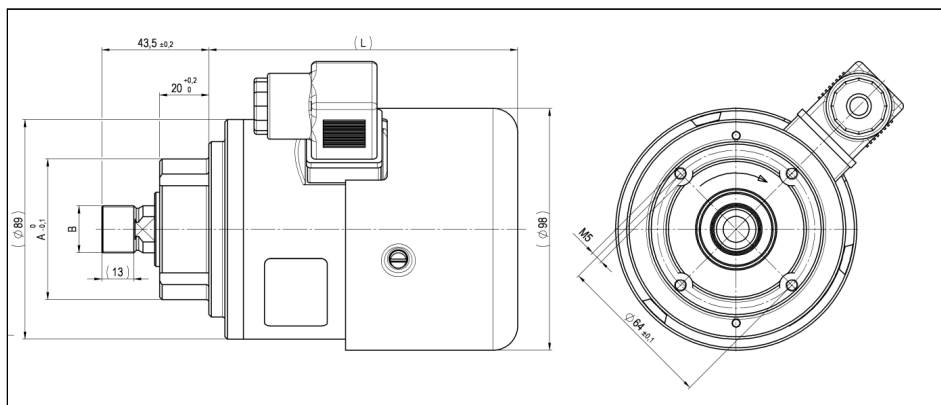
Osa Z	
typ motoru	103H7126-1941
moment motoru	2,2 Nm
počet kroků/ot	200 kroků/ot
typ snímače	E6B2-C
IRC počet imp/ot	2000 imp/ot
typ ložiska axiální 01	SKF 7200
typ ložiska axiální 02	SKF 7200
typ ložiska radiální	SKF 6200
stoupání kuličkového šroubu	5 mm/ot
maximální délka posuvu	50 mm/s
typ koncových spínačů	P-B182N

Tab. 4: Parametry osy Z



## 4.9 Vřeteno

Vřeteno pro vrtání a obrábění je použito od firmy ATAS (obr. 30). Jedná se o synchronní třífázový vysokootáčkový motor. Výkon motoru je 750 W a maximální otáčky jsou 23700 ot/min. Vřeteno bude řízeno pomocí frekvenčního měniče Danfoss typu VL 302 o výkonu 2.2 kW.



Obr. 30: Vřeteno ATAS [40]

<b>Výkon</b>	[W]	500 - 750
<b>Napětí</b>	[V]	3x230
<b>Otáčky</b>	[1/min]	23700
<b>Provoz</b>		S1
<b>Krytí</b>		IP 44
<b>Hmotnost</b>	[kg]	2,5

Tab. 5: Hodnoty vřetena ATAS [40]

Vřeteno na konci hřídele je osazeno sklíčidlem ER 16. Jedná se o typizované ukončení hlavy vřetene podle normy ČSN 22 04 33.



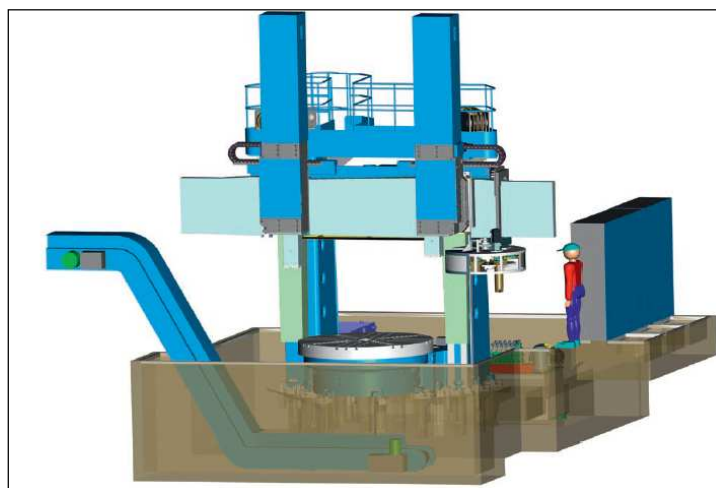
## 5 Realizace elektrické části

### 5.1 Požadované parametry

- Přesnost polohování stroje na 0,01 mm
- Rychlost posuvu 50 mm/s
- Modulární sestavení
- Možnost rozšíření na 4osý stroj
- Ovládání stroje pomocí G-kódu
- Spolupráce s programem EAGLE

### 5.2 Inspirace

Návrhem elektrické části jsem se inspiroval v podniku ČKD Blansko, kde jsem navštívil výrobu obráběcích strojů Karusel (obr. 31).



Obr. 31: Karusel [14]

průměr stolu	2400 [mm]
rychlost otáčení stolu	1-117 [st/min]
hlavní motor	80 [kW]
max. průměr obrobku	2800 [mm]
max. výška obrobku	1500 [mm]
max. zatížení stolu	10 000 [kg]

Tab. 6: Technické parametry stroje [14]

Tento stroj je řízen pomocí řídicího systému SINUMERIK 840D. Řízení je pomocí PLC od firmy SIEMENS.



Obr. 32: Servoměniče SIEMENS [27]

## 5.3 Elektrické komponenty

### 5.3.1 Řídicí systém

Řídicí systém CNC je možné řídit dvěma základními způsoby. Pro menší stroje, které jsou řízeny z jednoúčelového programu např. Mach3 se používají Drivery (obr. 33). Jedná se o řízení krokových motorů do 2,5 A. Do driverů je zapojen krokový motor a inkrementální snímač. Tyto jednotky řídíme pomocí LPT portu připojeného k počítači. Na počítači je nainstalovaná aplikace, která jednotlivé motory řídí pomocí impulzů.



Obr. 33: Drivery [41]

Další možnost řízení stroje je pomocí PLC (obr. 32). Toto řešení je použité u větších strojů. V programu NC-I (Numeric Control Interpolation) je možné nastavit PID jednotlivých motorů, kompenzovat tepelné roztažnosti materiálů (převážně u velkých strojů). Velkou výhodou je „zubová“ kompenzace mechanických převodovek pomocí motorů master-slave. Řešení pro řízení CNC strojů, jejich předprogramované funkční bloky, je možné realizovat s PLC od nejvýznamnějších společností:

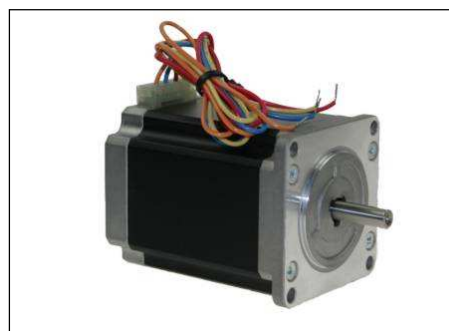
- Siemens
- Beckhoff
- Mitsubishi
- Rockwell
- Allen-Bradley
- B&R
- Honeywell
- Omron
- ABB

### 5.3.2 Motory

Motory, které se používají pro posuv jednotlivých os, dělíme do následujících skupin:

Pro menší aplikace jsou používány krokové motory (obr. 34). Mezi jeho přednosti patří:

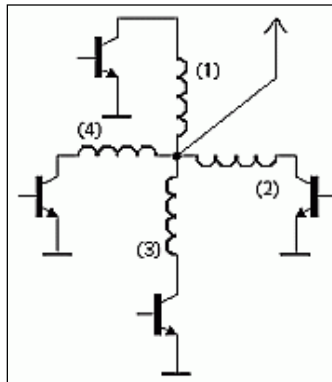
- nízké náklady
- jednoduché čtyř drátové zapojení
- snadná údržba
- rychlost limitovaná kolem 1000 ot/min
- krouticí moment maximálně 21 Nm



Obr. 34: Krokový motor SANYO DENKI [28]

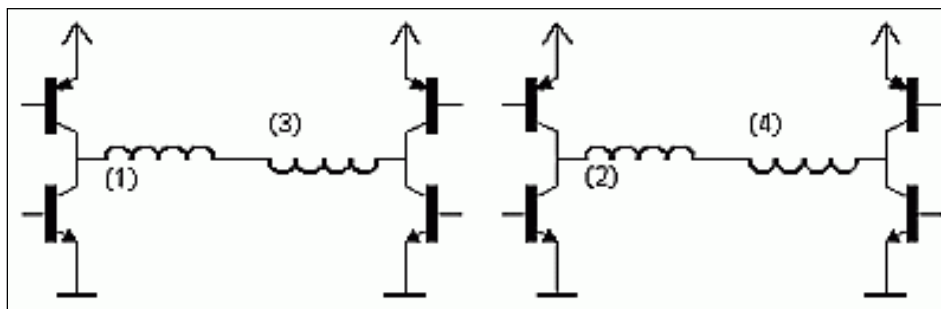
Krokové motory jsou rozlišeny na unipolární a bipolární.

U unipolárních motorů je rotor z magneticky měkkého materiálu a všechny jeho cívky mají vývody zapojené na společný přívodní vodič. Proud cívkami prochází v jednom okamžiku pouze jednou cívkou (obr. 35). Tato koncepce vyžaduje nejmenší odběr celého systému, ale díky tomu má malý kroučící moment.



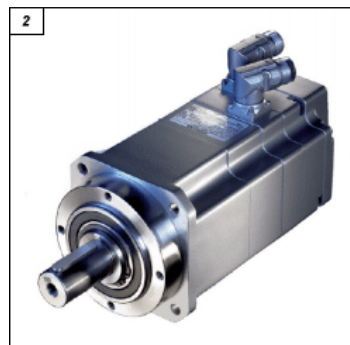
Obr. 35: Unipolární zapojení cívek motoru [29]

Bipolární krokové motory mají rotor s permanentním magnetem a vývody cívek jsou samostatné (obr. 36). Při bipolárním zapojení prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty mají zapojené vždy opačně orientovaná magnetická pole. Motor v tomto režimu poskytuje daleko větší kroučící moment.



Obr. 36: Bipolární zapojení cívek motoru [6]

U větších obráběcích strojů jsou použity střídavé servomotory (obr. 37), které jsou řízeny pomocí servozesilovačů.

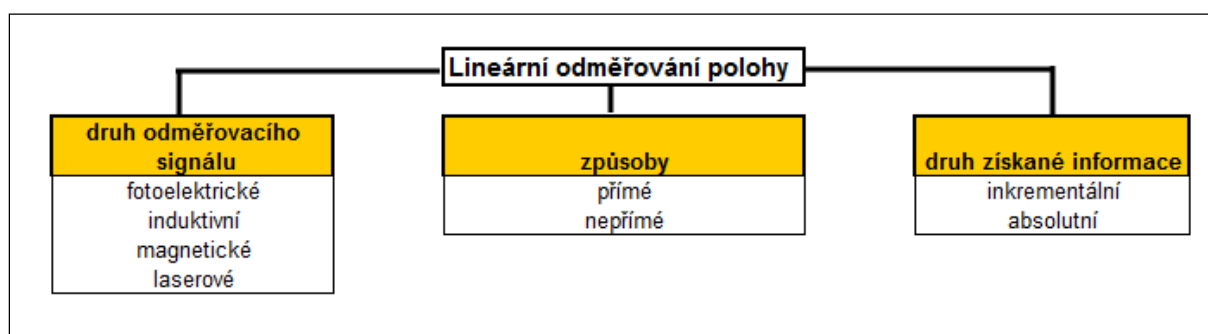


Obr. 37: AC servomotor [30]

AC servomotory jsou synchronní motory s permanentními magnety na rotorové části. Třífázové vinutí je umístěno na straně statoru. Magnetická konstrukce motoru se skládá z neoddyne-železo-bór materiálu. Díky tomu je možné motor až 5násobně momentově přetížít. Proto jsou často používány v úlohách, kde je vyžadována velká dynamika.

Na skříni motoru je obvykle uchycen snímač polohy, popřípadě resolver, který tvoří rychlostní zpětnou vazbu. Tyto motory jsou většinou používány u větších obráběcích strojů. Pokud je zapotřebí jakéhokoliv převodu, používáme planetové převodovky, které jsou kompaktní a velikostně stejné jako motor.

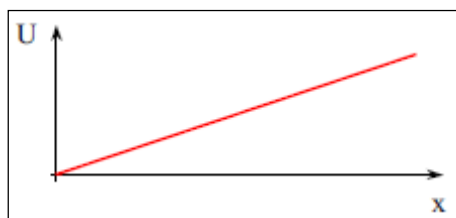
### 5.3.3 Lineární odměřování polohy



Obr. 38: Způsoby odměřování polohy [4]

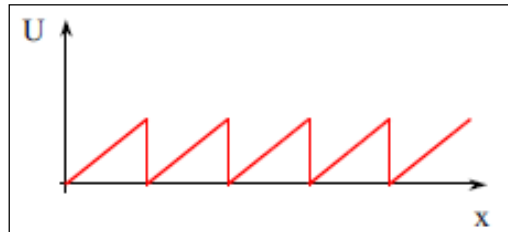
Z hlediska informace o poloze rozdělujeme informace o poloze do tří skupin:

- **absolutní odměřování** – v každém okamžiku pohybu osy je známá informace o poloze (obr. 39). Absolutní snímač přenáší do systému přesné číslo. Při zapnutí systému je opět známá přesná hodnota osy.



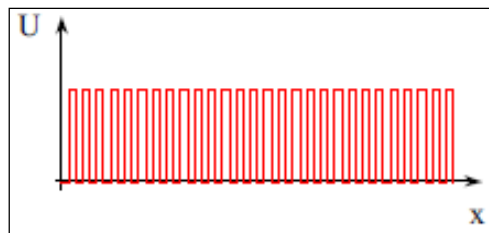
Obr. 39: Absolutní odměřování polohy [17]

- **cyklické absolutní odměřování** – více poloh odpovídá jediné hodnotě (obr. 40). Během jedné otáčky je známa absolutní hodnota hřídele. Tento snímač nerozlišuje větší natočení než  $360^\circ$ . Po zapnutí systému je vyžadováno najetí do referenčního bodu (koncový spínač).



Obr. 40: Cyklicky absolutní odměřování polohy [17]

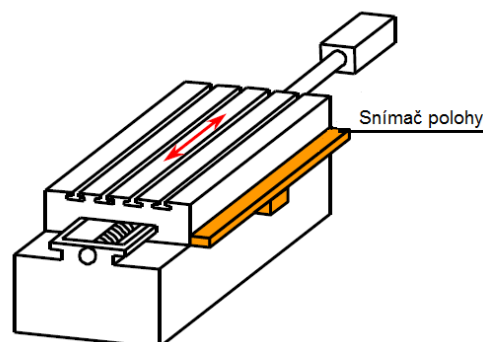
- **inkrementální odměřování** - výstupem jsou pulzy (obr. 41). Pro jeho další zpracování je zapotřebí čítač. Po zapnutí systému je vyžadováno najetí do referenčního bodu (koncový spínač).



Obr. 41: Inkrementální odměřování polohy [17]

Z hlediska získání informace o poloze jednotlivých os je možné odměřování rozdělit na dvě kategorie:

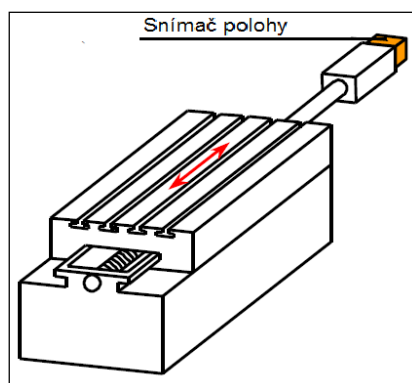
- **přímé** - snímač odměřuje polohu přímo hodnotu pohyblivého stolu (obr. 42). Při lineárním odměřování se zvyšuje cena snímače s délkou osy. V této koncepci je obtížné krytování snímače a také jeho pořizovací cena.[17]



Obr. 42: Přímé odměřování polohy [17]



- **nepřímé** - snímaná dráha se měří přímo na kuličkovém šroubu (obr. 43). Poloha je počítána pomocí převodového poměru kuličkového šroubu, například 5 mm posuvu na jednu otáčku šroubu. Chyba měření může být ovlivněna vůlí ve stoupání šroubu, popřípadě vůlí matice.[17]



Obr. 43: Nepřímé odměřování polohy [17]

### 5.3.4 Koncové prvky

Nejstarší způsob snímání koncové polohy je pomocí mechanických spínačů (obr. 44). Mechanické spínače se používají poměrně často u posuvných zařízení. Je to nejlevnější způsob řešení zjištění polohy. Pokud provozní podmínky a prostředí nevyžaduje bezkontaktní způsob snímání, je volba koncového spínače vhodným nasazením.



Obr. 44: Mechanický koncový spínač [33]

Další řešení koncových spínačů jednotlivých os můžeme řešit pomocí indukčních snímačů (obr. 45). Kmitavý obvod snímače indukuje v kovovém jádru vířivé proudy. Vlivem indukční vazby se utlumí a rozladí. Tímto klesne napětí v obvodu. Reakční vzdálenost je mezi 1-150 mm.



*Obr. 45: Indukční snímač [31]*

Dalším způsobem snímání koncové polohy je měření pomocí optických snímačů. Optické snímače pracují na bázi odrazu světla (obr. 46), které je vyzařováno pomocí IRED (Infra Red Emitting Diod) a přijímáno pomocí fototranzistoru, či jiného fotoelektrického prvku; aby byl snímač odolnější proti rušení, je emitováno pulzní světlo a přijímací elektronika vyhodnocuje pouze tento vysílaný kmitočet.

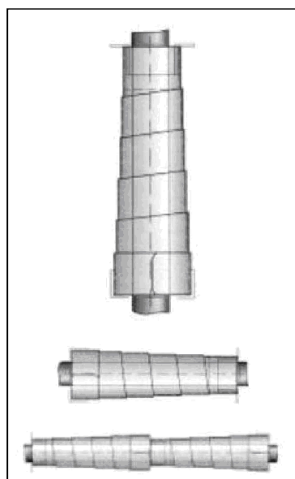


*Obr. 46: Optický snímač [32]*

### 5.3.5 Krytování kabeláže

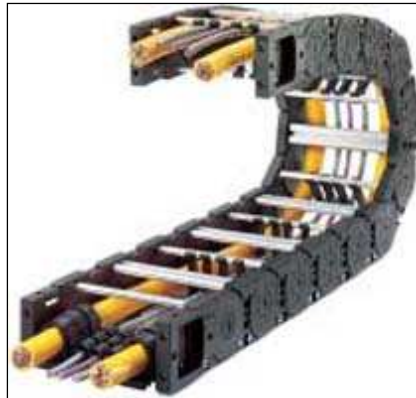
Kabely, které jsou používány pro flexibilní přenos datových nebo silových obvodů, je zapotřebí chránit proti mechanickému poškození, popřípadě zatečení nežádoucí kapaliny.

Nejdokonalejší ochrana vodičů je pomocí teleskopu (obr. 47). Lze je aplikovat v jakékoliv poloze. Tyto teleskopy jsou vyráběny pouze z oceli.



*Obr. 47: ochranný teleskop [34]*

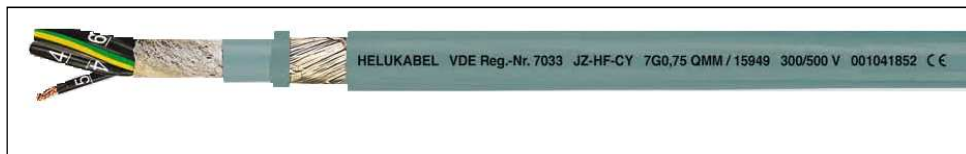
U menších strojů je také možné použít energetický řetěz (obr. 48). Skládá se z jednotlivých pohyblivých segmentů, které jsou navzájem spojeny čepy. Je možné jej použít v jakékoliv poloze. Kabel je tedy precizně vedený, ale není dostatečně ochráněn před mechanickým poškozením.



Obr. 48: Energetický řetěz [34]

Plastové energetické řetězy zaručují spolehlivé přivedení kabelů k pohyblivým částem. Konstantní poloměr ohybu řetězu zaručuje rovnoměrné namáhání kabelu. Řetěz se skládá z jednotlivých článků a sady přípojovacích dílů pro pevnou a pohyblivou část. Pro snadné vkládání kabelů jsou články v otevíratelném provedení.

Do energetických řetězů jsou vkládány speciální flexi kabely např. typu JZ-HF-CY (obr. 49).



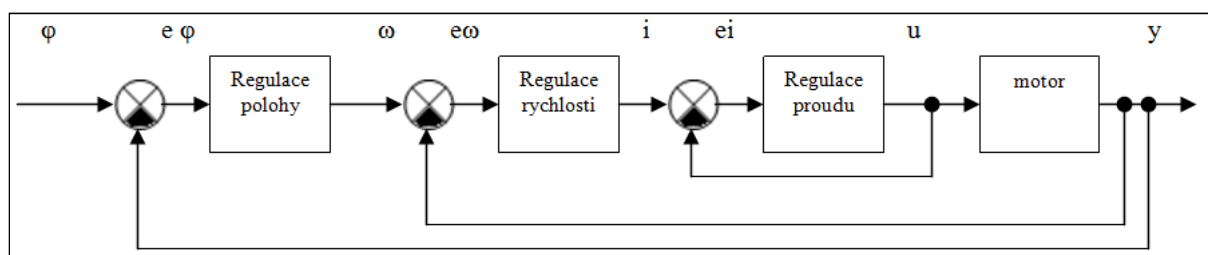
Obr. 49: Flexibilní kabel [35]

Jedná se o speciální PVC, které zaručuje extrémní ohebnost. Požadavky tohoto kabelu splňují normu DIN VDE 0281. Teplotní rozsah je  $-5\text{ °C}$  až  $+80\text{ °C}$  v pohyblivém uložení.

## 5.4 Řízení pohybu stroje

U posuvných pohonů se používá regulačního obvodu se třemi zpětnými vazbami. Dělíme je na smyčky:

- polohová regulační smyčka** – má za úkol regulovat polohu natočení osy hřídele. Polohová smyčka obsahuje podřízené smyčky. Jedná se o rychlostní a proudovou regulační smyčku. Vstupním signálem polohového regulátoru je okamžitá odchylka polohy  $\Delta(t) = u(t) - y(t)$ . Díky rychlostní zpětné vazbě není nutné používat PID regulaci, ale postačí nám složky PI. Jeho polohové zesílení konstantou  $K_v$ , která představuje požadovanou rychlost při jednotkové odchylce žádané a skutečné polohy. Polohová smyčka tedy měří odezvu na skok rychlosti a příslušné regulační odchylky polohy. Časový průběh musí být bez překmitu.
- rychlostní regulační smyčka** – vzhledem k setrvačným účinkům stroje musíme řídit kromě polohy i rychlost. Rychlostní regulátor musí od určité hodnoty polohové odchylky snižovat rychlost posuvu tak, aby v žádném případě nepřešel žádanou pozici. Správné naladění rychlostní smyčky je důležité pro správnou činnost žádané regulované polohy. Seřízení rychlostní smyčky provádíme pomocí frekvenční charakteristiky. Jedním z dalších funkčních testů je odezva systému na skokovou změnu. Ta by měla být s co nejrychlejším překmitem 15 - 20 % a rychlým útlumem.
- proudová regulační smyčka** - tato smyčka měří proud, který odpovídá krouticímu momentu, tekoucí motorem. Díky tomuto regulátoru zajišťuje velkou dynamiku motoru. Proudová regulace je základní regulovanou smyčkou, na niž je kladen velký důraz. Pokud by proudová regulační smyčka nefungovala správně, vnášela by chybu do rychlostní a polohové smyčky. Pro proudovou smyčku je použit obvykle PI regulátor, který je předřazen funkci proudu. Jako měřidlo proudu je nejčastěji používán snímač s Hallovou sondou. Odchylka žádané a skutečné velikosti proudu je proudovým regulátorem převedena na požadované napětí motoru.



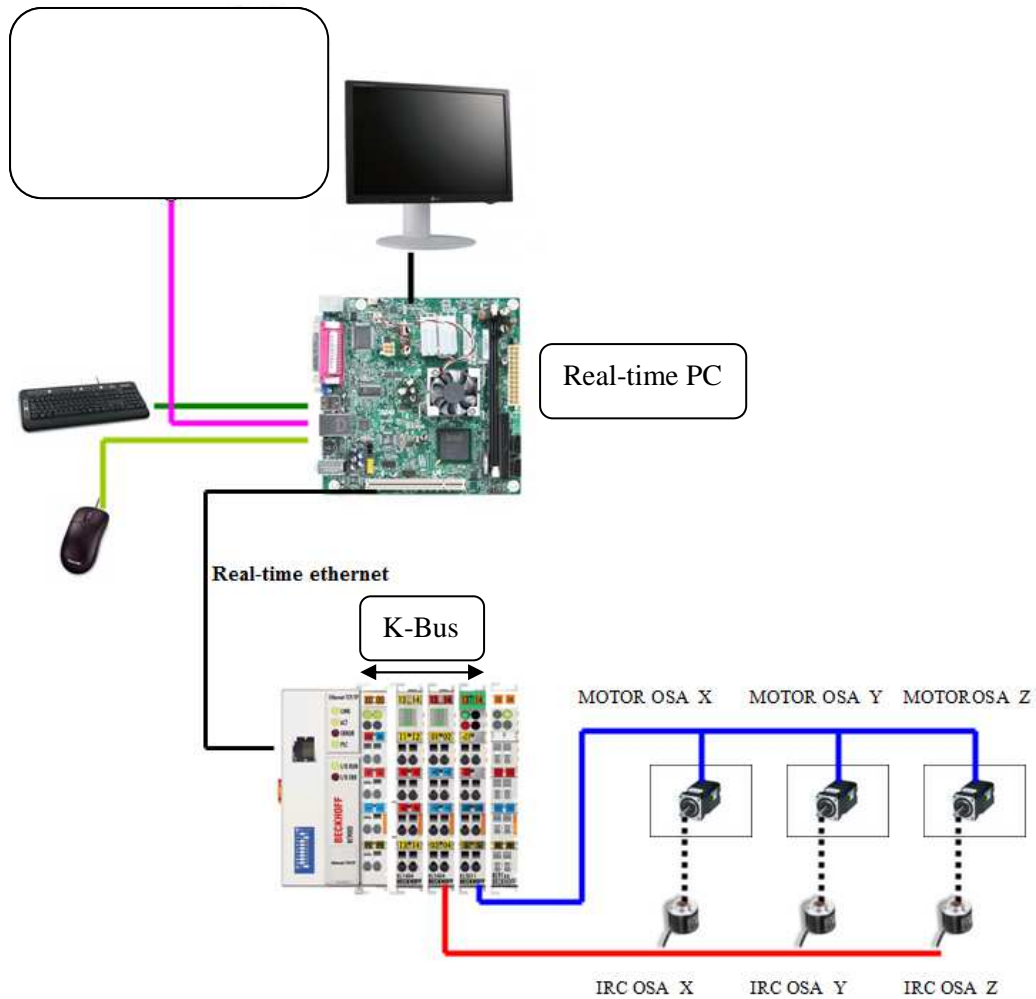
Obr. 50: Regulační smyčky

### Popis veličin:

- $\varphi$  - žádaná hodnota poloha
- $e\varphi$  - rozdíl žádané a skutečné polohy
- $\omega$  - žádaná rychlost otáčení rotoru
- $e\omega$  - rozdíl žádané hodnoty otáček a skutečné hodnoty otáček
- $i$  - žádaný proud
- $e_i$  - rozdíl žádaného a skutečného proudu
- $u$  - měřená hodnota proudu
- $y$  - měřená hodnota otáček

### 5.4.1 Blokové schéma

Řídicí systém NC Master je realizován pomocí PC s real-time komunikací (obr. 51). Ostatní osy v sestavně komunikují pomocí rozhraní real-time ethernet. Modulové svorky, které jsou řízeny za Cuplerem BK9100 jsou pomocí kruhové topologie řízeny sběrnici K-Bus.



Obr. 51: Topologie řízení

## 6 Realizace řídicího systému

### 6.1 Požadované parametry

Jednou ze základních úloh bude automatické vyvrtávání děr desek plošných spojů bez nutnosti ručního vytváření G-kódu. Vyleptaný plošný spoj se upne na stůl a za pomoci kamery umístěné na CNC frézce dojde k přesnému oskenování. Po vyhodnocení polohy desky a analýze obrazu plošek součástek DPS dojde k automatickému generování G-kódu a samostatnému vrtání veškerých děr.

Další možnou aplikací může být automatické rozpoznávání polohy obrobku, bez nutnosti přesného ustavení materiálu na pracovní desku stolu. Materiál by byl upevněn v pracovním prostoru CNC stroje a za pomoci kamery umístěné na CNC frézce dojde k jeho oskenování a určení přesné polohy. Tato poloha se použije jako referenční pro další obrábění.

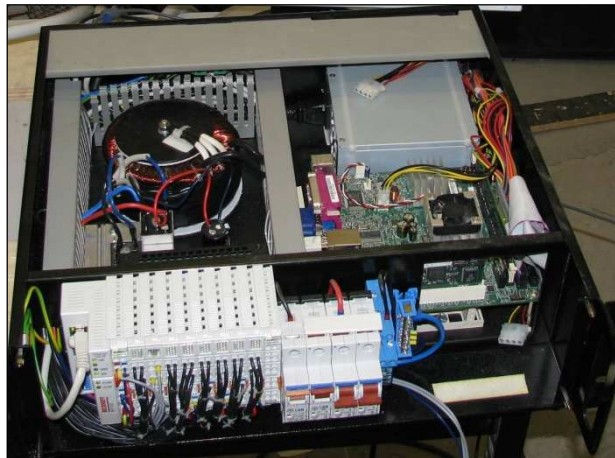
Při procesu generování G-kódu programem Eagle pro vrtání desek plošných spojů nedochází k optimálnímu určení pořadí vrtaných děr. Změnou pořadí vrtaných děr může dojít ke značnému zvýšení efektivity stroje. Toto je možno řešit oskenováním obrobku kamerou a následným použitím algoritmů používaných v oblasti hledání nejkratší cesty.

### 6.2 Inspirace

Mojí inspirací ve volbě řídicího systému byla návštěva společnosti DYGER, s.r.o., které aplikují svůj řídicí systém na obráběcí stroje. Jsou výhradním dodavatelem PLC a řídicích systémů firmy Beckhoff. Tato koncepce se mi velice líbí a bude nasazena na tuto aplikaci pro vrtání desek plošných spojů.

Tyto PLC rovněž používáme ve společnosti Prosoton, s.r.o., kde jsou využívány v pohonových aplikacích divadelních technologií, v nichž je kladen velký důraz na dynamiku zařízení a jeho přesnost polohování.

### 6.3 Volba řídicího systému



Obr. 52: MaR pro CNC stroj

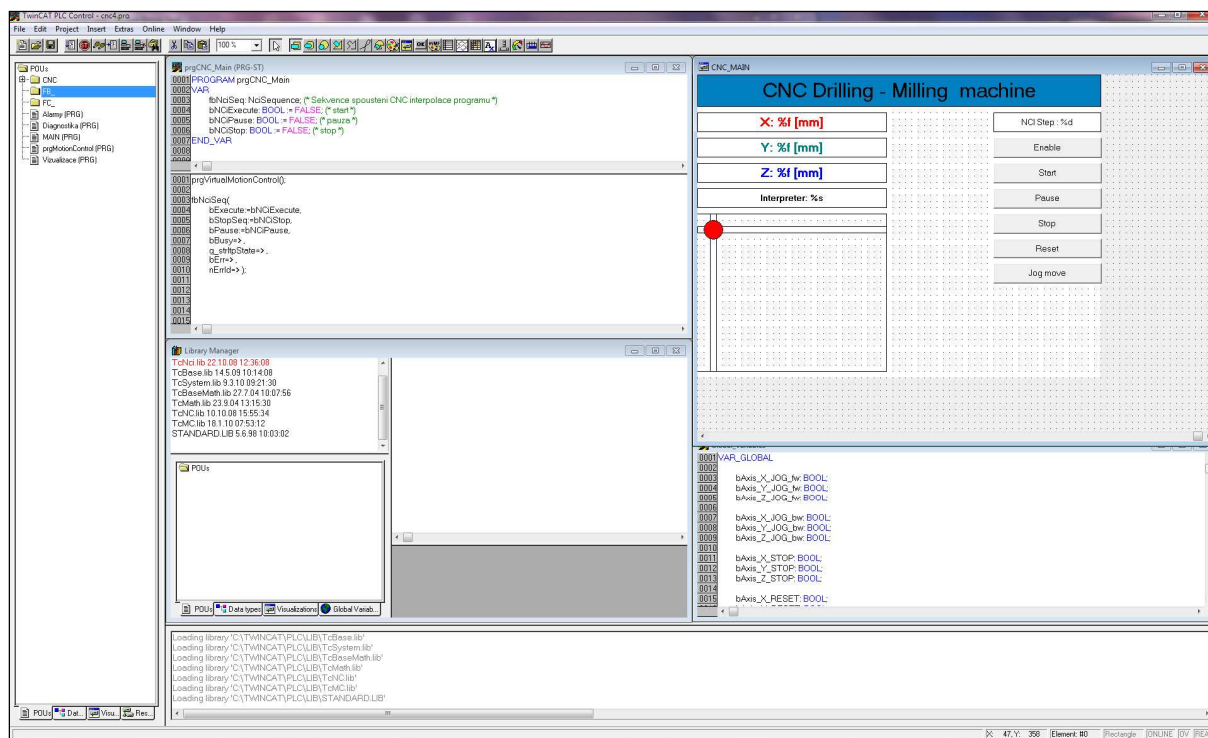
Celý řídicí systém je založen na základní desce Mini-ITX s integrovaným CPU Intel Celeron 1,3 GHz, integrovanou grafikou, zvukovou kartou a síťovou kartou INTEL D201GLYL (obr. 52). Pro řízení CNC vrtačky jsem použil počítač především z důvodů ekonomiky a strojového času pro možné rozšíření. Další výhodou je připojení uživatelského rozhraní (monitoru, klávesnice a nastavení stroje do startovacích hodnot pomocí počítače). Exportem a importem jednotlivých G-kódů pro práci vrtačky je možné sdílet diskový prostor počítače.

V počítači jsou instalovány dvě síťové karty. První integrovaná síťová karta slouží pro import dat, sdílení diskových prostorů, vzdálené plochy apod. Druhá síťová karta je instalovaná ve sběrnici PCI. Slouží ke komunikaci mezi BK 9010 (PLC Bus cupler) a PC pomocí Real Time protokolu. Tato síťová karta, která tento provoz spolehlivě zabezpečuje, je opatřena chipsetem Intel 8052.

V počítači je instalovaný operační systém Windows XP. Na tomto systému je instalován program TwinCAT PLC NC-I. Funkce PLC a NC-I (numeric control interpolation) řízení zajišťuje real-time jádro TwinCAT NC-I Runtime (NC-PTP = Numeric Control Point to Point). Výkon PC dostačuje pro řízení až 10 NC os v reálném čase. Vytížení CPU a celkový čas zpracování všech procesů lze monitorovat. Programování a konfigurace programu se provádí přímo na grafickém rozhraní počítače. TwinCAT (The Windows Control Automation Technology). Software TwinCAT je rozdělen na 2 základní části: TwinCAT Runtime a TwinCAT vývojové prostředí. TwinCAT Runtime je real-time jádro, které umožňuje vykonávat funkce PLC a NC-I v reálném čase. PC s funkcemi PLC se nazývá soft PLC. TwinCAT Runtime nahrazuje standardní hardwarové PLC a NC moduly. Výhodou je, že TwinCAT Runtime pracuje na otevřené architektuře PC a využívá její velké výpočetní kapacity. TwinCAT Runtime běží v reálném čase se základním taktem 1ms, který lze snížit až na 50  $\mu$ s. Přesnost taktu je  $\pm 5$   $\mu$ s. Na jednom PC je možné nastavit až 4 TwinCAT Runtime, to znamená, že je možné spustit na jednom PC 4 PLC programy. S každým z těchto programů lze pracovat nezávisle. Tato vlastnost je využívána u složitých technologických celků nebo strojů. TwinCAT vývojové prostředí je modulární editační software. Základními částmi jsou TwinCAT PLC Control, TwinCAT Systém Manager a TwinCAT ScopeView.



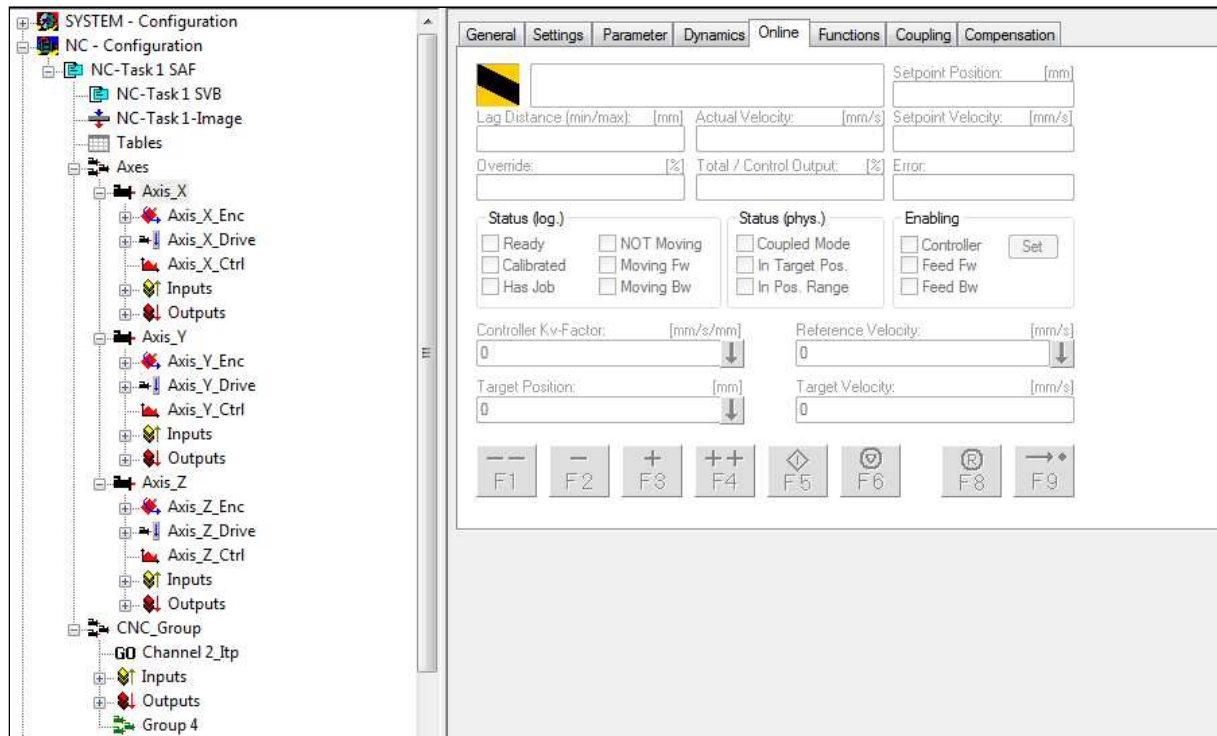
- *TwinCAT PLC Control*: Modul TwinCAT PLC Control (obr. 53) je určený pro zápis programu podle normy IEC-61131-3 ve strukturovaném textu (ST), funkčních blocích (FBD), instrukčním listu (IL), sekvenčním zápisu (SFC) a funkčním grafu (CFC). Jednotlivé části programu mohou být zapsány v různých zápisech. Volba typu zápisu programu závisí na zvyklostech programátora, případně na vhodnosti pro danou aplikaci.



Obr. 53: TwinCAT PLC Control

PLC program lze rozdělit do 4 na sobě nezávislých časově spouštěných úloh (tasky) s definovanými prioritami spouštění. Periodu spouštění lze nastavit v rozsahu 50  $\mu$ s až stovky ms. Perioda závisí na typu aplikace a použitém hardwaru řídicího systému. PLC Control má integrované funkce pro vyhledávání chyb v programu, kontrolu vzájemného přepisu paměťových oblastí, editační a dokumentační funkce pro práci se zdrojovým kódem programu. Umožňuje on-line sledování programu, on-line zápis změn do programu bez nutnosti zastavit jeho vykonávání, krokování programu po jednotlivých cyklech nebo jednotlivých příkazech.

- *TwinCAT Systém Manager*: Modul TwinCAT Systém Manager (obr. 54) je určený pro hardwarovou konfiguraci. Jsou zde nakonfigurovány propojení mezi PLC projektem a IO moduly. Dále umožňuje automatické načtení IO modulů, přístup do registrů jednotlivých IO modulů, nastavení komunikací a jejich diagnostiku, on-line sledování hodnot na IO modulech a diagnostiku chyb. TwinCAT Systém Manager podporuje režim Free Run. Tento režim umožní zápis hodnot na výstupy IO modulů bez nutnosti vytvoření nebo spuštění PLC programu. Free Run se využívá při oživování nových zařízení nebo lokalizaci poruch.

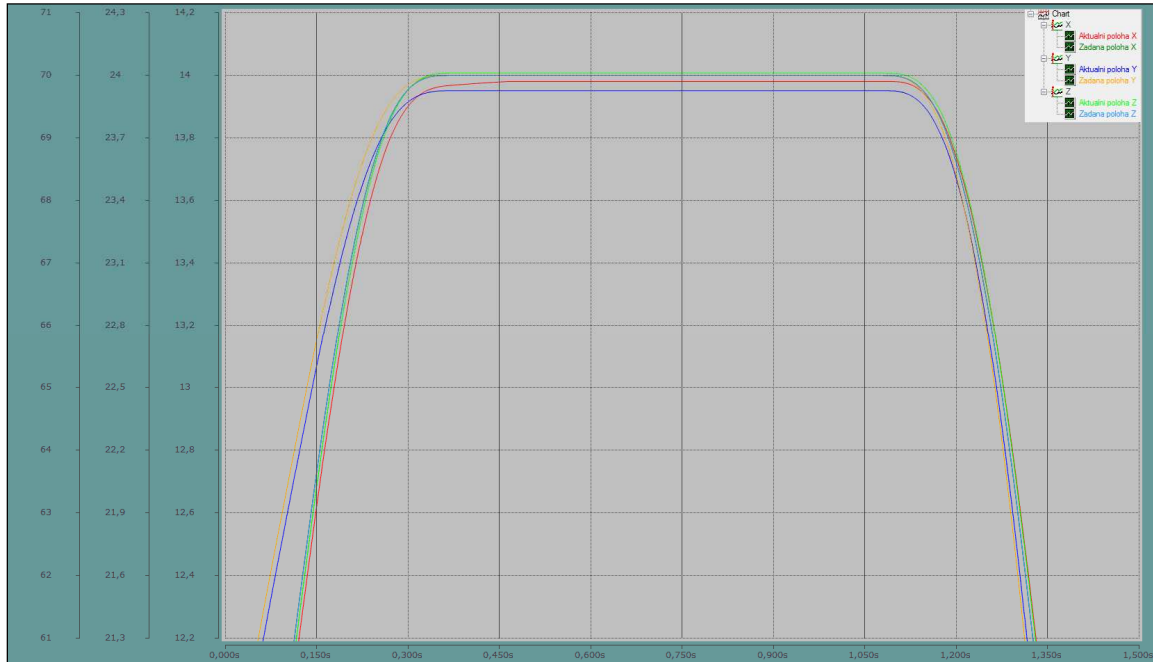


Obr. 54: TwinCAT Manager

Součástí TwinCAT Systém Manageru je modul NC-I řízení. NC-I řízení je obecný nástroj, kterým lze konfigurovat parametry reálného pohybu v technologii (obr. 54). Každý řízený pohyb v technologii je v NC-I řízení reprezentován NC osou. NC osa má nastavení pro snímač polohy (encoder), výkonový prvek (krokové motory). Tato podaplikace NC zajišťuje správné nastavení všech parametrů motoru, inkrementálního snímače a regulátorů. Dále v aplikaci zadáme v jakém smyslu má být zadaná hodnota dosažena a po jaké křivce. Tyto parametry jsou důležité z hlediska volného přejezdu jednotlivých os. K dispozici je lichoběžníková nebo S-křivka. Více používaným je lichoběžníková křivka, z důvodů výhodnějších navazujících pohybů. Průběh S-křivky je vhodný, pokud je nutné minimalizovat mechanické namáhání stroje.

Každá NC osa má dialogové okno pro testování funkčnosti osy bez nutnosti spustit PLC program. Testování lze provádět buď manuálním spouštěním NC osy, nebo lze využít přednastavené režimy pro absolutní a relativní pohyb, krokování, reverzní sekvence. Tyto režimy jsou nezbytné při nastavování parametrů jednotlivých NC os.

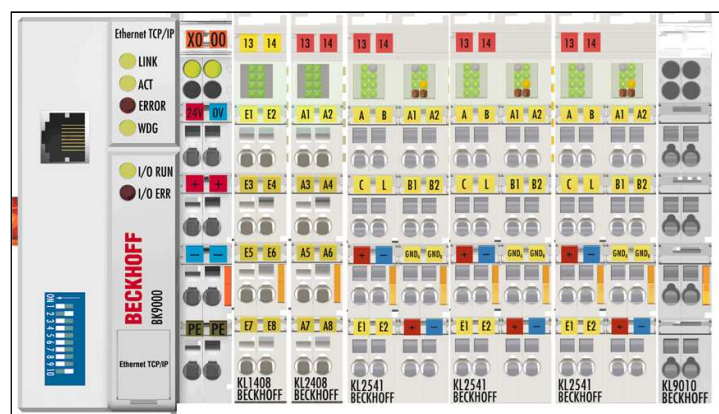
- *TwinCAT Scope View*: Nastavbový modul TwinCAT ScopeView je softwarový osciloskop (obr. 55). Umožňuje monitorování průběhu jednotlivých proměnných v čase. Proměnné je možné zobrazit v jednom grafu, nebo je rozdělit do několika grafů. Graf je následně možné analyzovat. Pro nastavení správných parametrů NC osy je grafické znázornění nezbytným krokem. Na (obr. 55) jsou znázorněny osy X, Y, Z a jejich skutečná a žádaná hodnota.



Obr. 55: TwinCAT Scope View

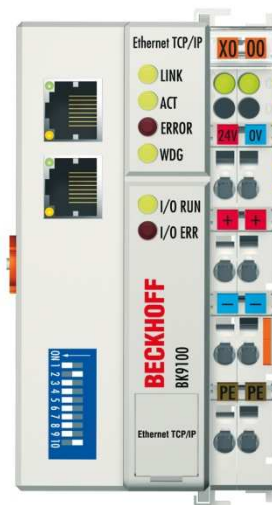
Hardwarové řešení je použité modulové. Je možné na procesor PLC přidat až 64 jednotlivých modulů. Tímto se systém stává jednoduše rozšiřitelný na další osy, například řízení chlazení jednotlivých motorů, dávkování chladicí kapaliny apod. Soustava jednotlivých modulů se skládá z:

- BK9000 - cupler
- KL1408 - digitální vstupy
- KL2408 - digitální výstupy
- KL2541 - driver pro krokové motory
- KL2541 - driver pro krokové motory
- KL2541 - driver pro krokové motory



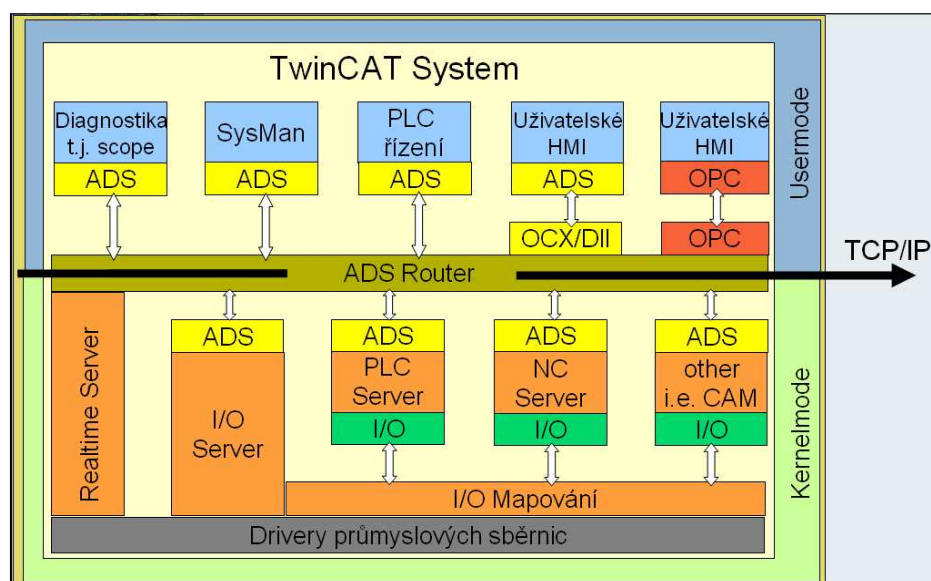
Obr. 56: Sestava PLC [2]

Konfigurace PLC pro řízení krokových motorů a ostatních periferií se skládá z BK 9100 (obr. 57).



Obr. 57.: Bus coupler BK9100 [2]

BK 9100 K-Bus spojuje ethernet rozhraní s jednotlivými moduly na sběrnici. Pomocí DIP switch přepínače je možné nastavit vlastní IP adresu, popřípadě použít módu DHCP klient. IP adresa bude přidělena z DHCP serveru. Pokud je na zařízení nastavený mód DHCP klient, je default adresa 172.16.17.xx. - poslední číslo volíme podle prvních 4 DIP. Na rozdíl od BK 9000, má BK 9100 další RJ 45 ethernetový port. Tento slouží k navázání další ethernetové komunikace klasické strukturované sítě pomocí switche. Jednotlivé vzdálenosti mezi stanicemi mohou být maximálně 100 m. BK 9100 podporuje ADS TwinCAT komunikační systém.

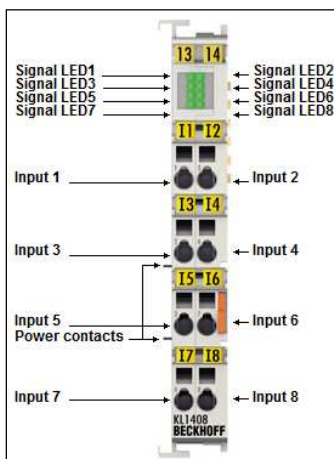


Obr. 58: ADS komunikace [2]

TwinCAT I/O zpřístupňuje konfigurační nástroje na úrovni DLL pro aplikace Visual Basic (ActiveX) viz (obr. 58). Aplikace s rozhraním OPC mohou přistupovat pomocí ADS přímo na jednotlivé registry svorek. Kromě ADS komunikace BK 9100 podporuje Open Modbus TCP nebo rozšíření master/slave protokol založený na platformě TCP/IP

Použité karty:

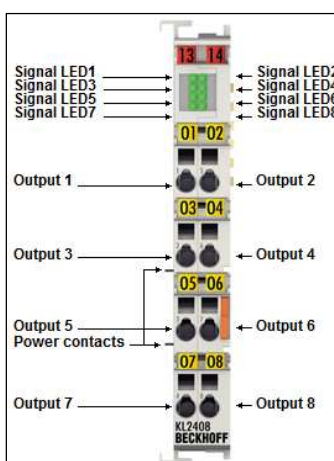
- 1 x KL 1408 : 8 x DIG\_IN



Obr. 59: Vstupní karta KL 1408 [2]

Digitální vstupní svorka KL 1408 (obr. 59) získávají binární řídicí signály, které jsou elektricky izolované. Digitální vstupy jsou aktivovány pomocí kladného napětí 24 V proti GND. Tento terminál umožňuje přenést 8 kanálů. Jednotlivé aktivace jsou kontrolovány LED diodami v horní části karty.

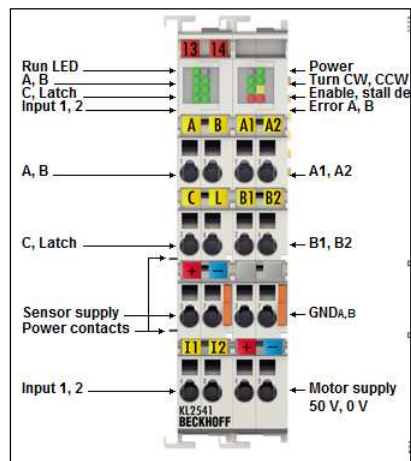
- 1 x KL 2408 8 x DIG\_OUT



Obr. 60: Výstupní karta KL2408 [2]

Digitální výstupní svorka KL 2408 (obr. 60) má 8 výstupních kanálů. Tyto kanály jsou galvanicky oddělené. Na kartě jsou instalovány LED diody, které signalizují aktivaci jednotlivých výstupů.

- 3xKL2541 (karta pro řízení krokových motorů se zpětnou vazbou IRC)



Obr. 61: Karta pro krokové motory KL 2541 [2]

Svorka KL 2541 (obr. 61) je určena pro řízení krokových motorů s výkonem středního rozsahu. Motory jsou řízeny pomocí PWM. Na modulu jsou umístěny dva digitální vstupy pro určení kalibrace motoru. Dále je modul opatřen vstupními svorkami pro IRC snímač. Karta umožňuje až 1/64 mikrokrokování. Můžeme říci, že tato karta tvoří malé levné servo.

Řídicí kartu je možné konfigurovat pomocí vnitřního setupu programem KS 2000. Mezi hlavními parametry je omezení maximálního proudu, nastavení registrů, mikrokrokování (mikrostepping). Rozlišení jednoho kroku může být až 1/64 viz tab. 7. Momentové charakteristiky při mikrokrokování zůstávají stejné jako při momentové charakteristice plného kroku.

Mikrokrokování	Perioda
Full step	1
Half step	2
1/4 step	4
1/8 step	8
1/16 step	16
1/32 step	32
1/64 step	64

Tab. 7: Mikrokrokování

- 1xKL9010 (ukončovací karta sběrnice K-bus)

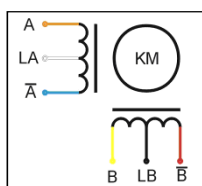


Obr. 62: Ukončovací karta KL 9010 [2]

Tato karta se stará o odporové zakončení K-Bus sběrnice (obr. 62). Je tedy nezbytnou zakončovací kartou každého plc.

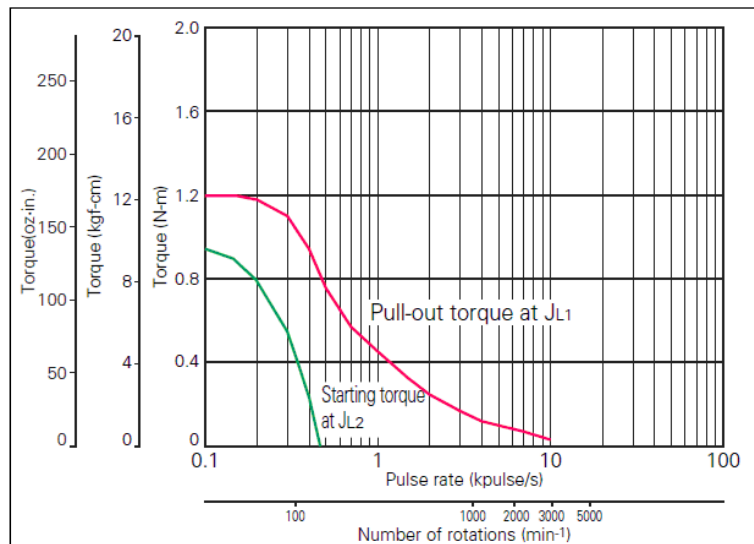
V napájecí části jsou použité tři zdroje. Pro napájení počítače jsem použil standardní 200W ATX zdroj. PLC, řídicí svorky jsou napájeny ze spínaného zdroje 24 V/3 A. Pro napájení krokových motorů je použit toroidní transformátor o výkonu 600 W. Jeho výstupní napětí je 2 x 35 V AC. Pro usměrnění je použit diodový můstek. Za diodovým můstkem je zapojen filtrační kondenzátor. Napájecí napětí jsem volil z důvodů rozložení výkonu. Diodové můstky jsou použity dva. Jeden slouží pro napájení osy X, tato osa je nejvíce momentově zatížená. Osa Y, Z je napájena z druhé větve napájecího zdroje.

Pro drivery od firmy Beckhoff jsou použity standardní krokové motory od firmy Sanyo Denki typ 103H7126-1941 (obr. 63). Rozlišení motoru je 200 kroků na otáčku, 1,8 ° krok. Použil jsem bipolární zapojení cívek. V driveru pro řízení motoru je použito krokování 1/64. Celkový počet kroků je tedy 12800.



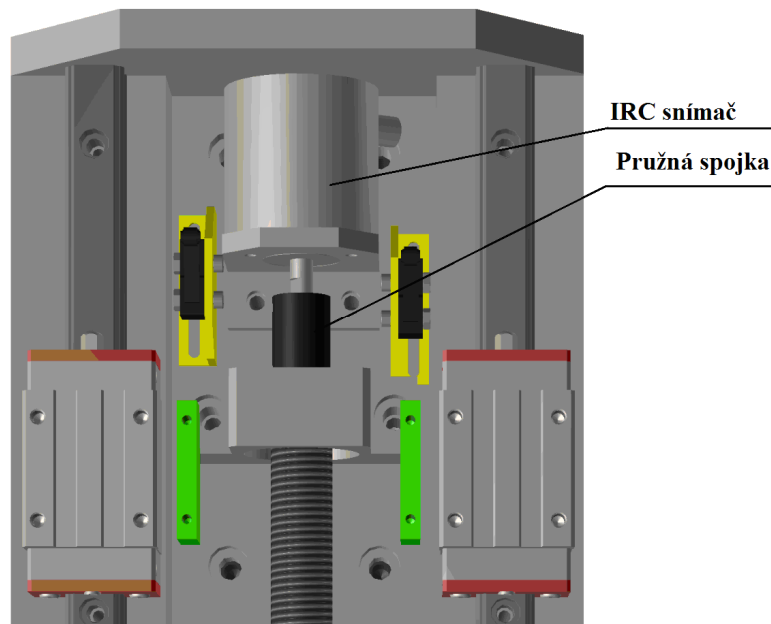
Obr. 63: Krokový motor Sanyo Denki [28]

V grafu jsou znázorněny charakteristiky motoru. Pro nastavení krokových driverů je nutné uvažovat maximální otáčky motoru při jeho maximálním momentu. Při zvyšování otáček prudce klesá moment motoru viz (obr. 64).



Obr. 64: Charakteristika motoru [28]

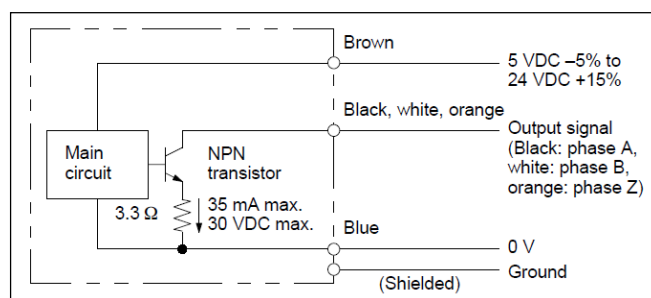
U stroje je poloha snímaná nepřímou. Inkrementální snímač je uchycen pomocí pružné spojky ke kuličkovému šroubu (obr. 65).



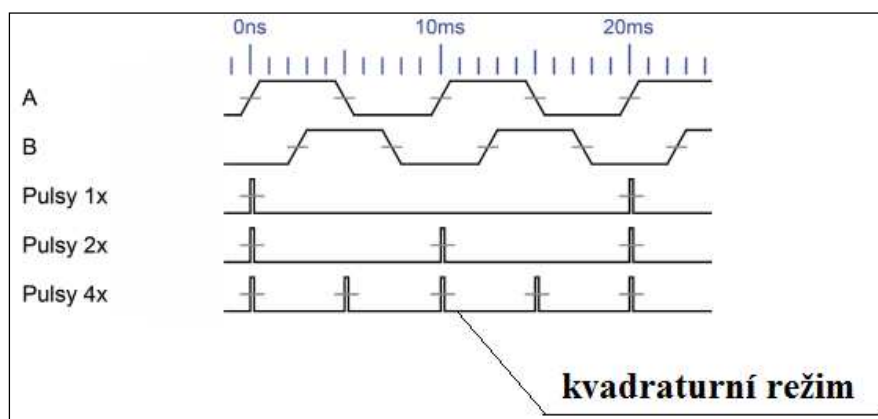
Obr. 65: Uchycení IRC snímače



Větší přesnost je docílena předepnutou maticí kuličkového šroubu a přesností stoupání. Je zde použit inkrementální rotační snímač typu E6B2-C s 24V 2000 imp/ot. V systému je použita kvadrurní metoda vzestupných a sestupných hran u jednotlivých kanálů A B, takže systém počítá s celkovým počtem 8000 imp/otáčku (obr. 67).



Obr. 66: Vnitřní zapojení IRC E6B2-C [16]



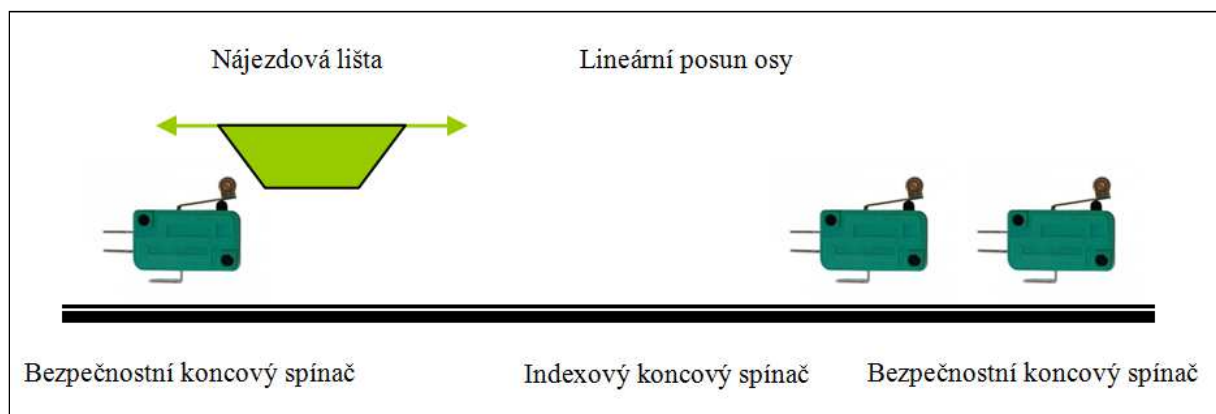
Obr. 67: Kvadrurní režim [36]

Výstup snímače je připojen přímo do inkrementální karty KL 2541, která je součástí motorové karty. Výstup snímače je s otevřeným kolektorem. Do výstupů A, B, Z je instalovaný rezistor 4,7 K proti pólu 24 V.



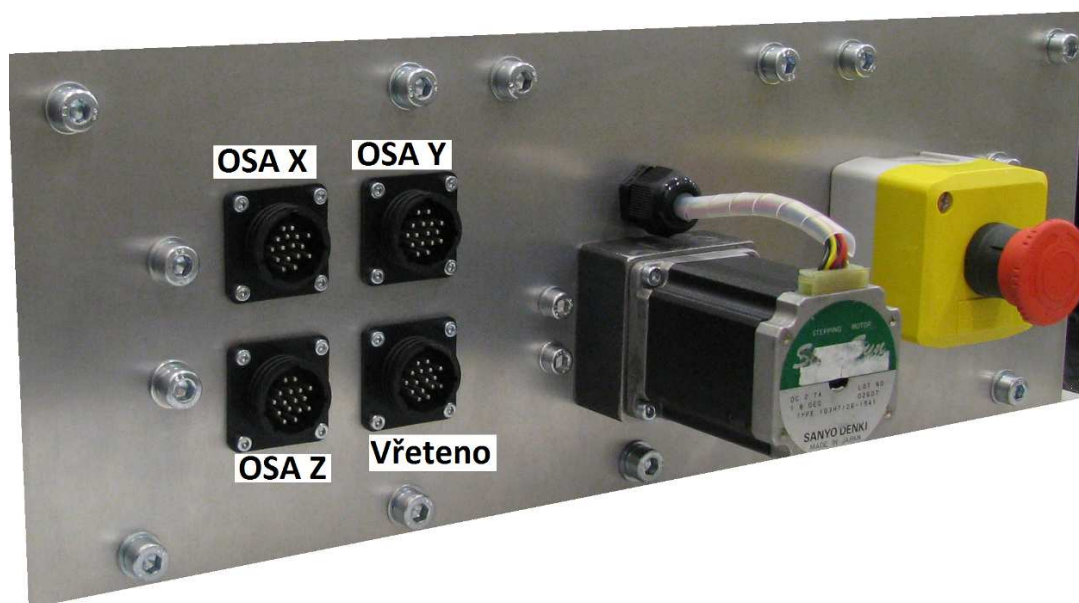
Obr. 68: Umístění snímače polohy osa X

Koncové spínače jsou na každé ose instalovány tři. Dva koncové spínače jsou použity v krajních možných polohách, kde se stroj ve standardním režimu neaktivuje (obr. 69). Tyto spínače jsou aktivní v případě, že nastane porucha v řídicím systému. Chrání tak stroj před mechanickým poškozením. Třetí koncový spínač je určen k určení referenčního bodu osy. Všechny spínače jsou zapojeny jako NC z důvodů bezpečnosti. Tato metoda zároveň kontroluje přetržení kabelu mezi spínačem a stykačem, který vypíná celý stroj. Po zapnutí se tímto strojem kalibruje a nastaví do výchozí polohy. Pro kalibraci osy je použita metoda GO\_Home, která po najezení na koncový spínač aktivuje koncovou nulovou polohu, ale přesná poloha je pak dopočítána podle Z kanálu na IRC snímači. Tím se stává poloha přesná s přesností 0,0026 mm. Tato hodnota představuje rozlišení mm/Inkrement.



Obr. 69: Umístění havarijních a kalibračních spínačů

Na propojení CNC frézky a ovládacího rozvaděče jsou použity konektory od firmy AMP. Jedná se o 16pinový konektor s maximálním proudem 16 A/230 V na jeden pin. Tyto konektory se používají běžně v průmyslu. Jejich výhodou je možné zakódování pozic jednotlivých konektorů. Jak je zřejmé z (obr. 70), jsou konektory pro osu X, Y, Z stejné, jako konektor pro napájení vřetene. Pomocí zaslepovacích kolíků je tato možnost vyloučena.



*Obr. 70: Umístění vstupních napájecích konektorů CNC*

Každý z pinů je dimenzovaný na proud 16A. V konektoru vedou signály pro krokový motor, IRC, koncové spínače, ventilátor a další signály potřebné k provozu. Zapojení jednotlivých pinů je znárodněno v tab. 8-11.

OSA X				
Pin AMP	Typ zařízení	barva kabelu zařízení	pin karta	kabel
Pin_01	Motor-A	oranžová	_KL2451_1_Pin 1	kabel WS1_X_1
Pin_02	Motor -A/	modrá	_KL2451_1_Pin 5	kabel WS1_X_2
Pin_03	Motor-B	žlutá	_KL2451_1_Pin 2	kabel WS1_X_3
Pin_04	Motor-B/	červená	_KL2451_1_Pin 6	kabel WS1_X_4
Pin_05	IRC- A	černá		kabel WS2_X_šedá
Pin_06	IRC-B	bílá		kabel WS2_X_žlutá
Pin_07	IRC-Z	oranžová		kabel WS2_X_zelená
Pin_08	IRC-Ucc 24V	hnědá		kabel WS2_X_hnědá
Pin_09	IRC-0V	modrá		kabel WS2_X_bílá
Pin_10	Nulový konc. spínač	hnědá		kabel WS3_X_hnědá
Pin_11	GND (0V)	modrá		kabel WS3_X_modrá
Pin_12	Bezpečnostní spínač	bílá		kabel WS3_X_bílá
Pin_13	Total Stop	žlutá		kabel WS3_X_žlutá
Pin_14	Ventilátor motoru	šedá		kabel WS3_X_šedá
Pin_15	24V	červená		kabel WS3_X_červená
Pin_16	PE	zelená		kabel WS3_X_zelená

Tab. 8: Zapojení konektoru AMP osy X

OSA Y				
Pin AMP	Typ zařízení	barva kabelu zařízení	pin karta	kabel
Pin_01	Motor-A	oranžová	_KL2451_2_Pin 1	kabel WS1_Y_1
Pin_02	Motor -A/	modrá	_KL2451_2_Pin 5	kabel WS1_Y_2
Pin_03	Motor-B	žlutá	_KL2451_2_Pin 2	kabel WS1_Y_3
Pin_04	Motor-B/	červená	_KL2451_2_Pin 6	kabel WS1_Y_4
Pin_05	IRC - A	černá		kabel WS2_Y_šedá
Pin_06	IRC-B	bílá		kabel WS2_Y_žlutá
Pin_07	IRC-Z	oranžová		kabel WS2_Y_zelená
Pin_08	IRC-Ucc 24V	hnědá		kabel WS2_Y_hnědá
Pin_09	IRC-0V	modrá		kabel WS2_Y_bílá
Pin_10	Nulový konc. spínač	hnědá		kabel WS3_Y_hnědá
Pin_11	GND (0V)	modrá		kabel WS3_Y_modrá
Pin_12	Bezpečnostní spínač	bílá		kabel WS3_Y_bílá
Pin_13	Rezerva	žlutá		kabel WS3_Y_žlutá
Pin_14	Ventilátor motoru	šedá		kabel WS3_Y_šedá
Pin_15	24V	červená		kabel WS3_Y_červená
Pin_16	PE	zelená		kabel WS3_Y_zelená

Tab. 9: Zapojení konektoru AMP osy Y

OSA Z				
Pin AMP	Typ zařízení	barva kabelu zařízení	pin karta	kabel
Pin_01	Motor-A	oranžová	_KL2451_3_Pin 1	kabel WS1_Z_1
Pin_02	Motor -A/	modrá	_KL2451_3_Pin 5	kabel WS1_Z_2
Pin_03	Motor-B	žlutá	_KL2451_3_Pin 2	kabel WS1_Z_3
Pin_04	Motor-B/	červená	_KL2451_3_Pin 6	kabel WS1_Z_4
Pin_05	IRC - A	černá		kabel WS2_Z_šedá
Pin_06	IRC-B	bílá		kabel WS2_Z_žlutá
Pin_07	IRC-Z	oranžová		kabel WS2_Z_zelená
Pin_08	IRC-Ucc 24V	hnědá		kabel WS2_Z_hnědá
Pin_09	IRC-0V	modrá		kabel WS2_Z_bílá
Pin_10	Nulový konc. spínač	hnědá		kabel WS3_Z_hnědá
Pin_11	GND (0V)	modrá		kabel WS3_Z_modrá
Pin_12	Bezpečnostní spínač	bílá		kabel WS3_Z_bílá
Pin_13	Rezerva	žlutá		kabel WS3_Z_žlutá
Pin_14	Ventilátor motoru	šedá		kabel WS3_Z_šedá
Pin_15	24V	červená		kabel WS3_Z_červená
Pin_16	PE	zelená		kabel WS3_Z_zelená

Tab. 10: Zapojení konektoru AMP osy Z

Vřeteno				
Pin AMP	Typ zařízení	barva kabelu zařízení	pin karta	kabel
Pin_01	L1_motor	hnědá		WS_4_hnědá
Pin_02	L1_motor	černá		WS_4_černá
Pin_03	L2_motor	fialová		WS_4_fialová
Pin_04	L2_motor	modrá		WS_4_modrá
Pin_05	L3_motor	červená		WS_4_červená
Pin_06	L3_motor	šedá		WS_4_šedá
Pin_07	termistor_1	žlutá		WS_4_žlutá
Pin_08	termistor_2	bílá		WS_4_bílá
Pin_09	power_kontakt	růžová		WS_4_růžová
Pin_10	power_kontakt	šedo-růžová		WS_4_šedo-růžová
Pin_11	PE	červeno-modrá		WS_4_červeno-modrá
Pin_12	PE	zelená		WS_4_zelená
Pin_13				WS_4_záslepka
Pin_14				WS_4_záslepka
Pin_15				WS_4_záslepka
Pin_16	stínění	stínění		WS_4_stínění

Tab. 11: Zapojení konektoru AMP vřetene

## 6.4 G-kódy

Tento jazyk se používá k řízení NC a CNC obráběcích strojů. Byl vyvinut společností EIA na počátku 60. let. Pomocí kódů lze zadávat následující hodnoty G-kódů a M-kódů.

Každý blok se skládá z čísla bloku označeným písmenem N (numer) viz tab. 12. Číslo udává jednotlivé řádky kódu. Většinou se řádky označují po 10. Dalším znakem je písmeno G, které nazýváme adresnou částí. Dalším číslem, které je uvedeno za písmenem G, je číslo, které udává jednotlivé atributy příkazu. Příkazy X 25 Z-5.2 udávají pozice jednotlivých os.

<b>N0050</b>	<b>G01</b>	<b>X25.0</b>	<b>Y12.1</b>	<b>Z-5.2</b>	<b>M08</b>
<b>č.bloku</b>	<b>slovo</b>	<b>pozice osa X</b>	<b>pozice osa Y</b>	<b>pozice osa Z</b>	<b>pomocná funkce</b>

*Tab. 12: Rozložení G-kódu*

Vstupní data, která budou vkládána do programu TWINCAT, jsou ve formátu G-kódu. G-kód je název programovacího jazyka, který je psán podle normy ČSN ISO 6983. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé funkce G-kódu.

Název	Popis
G00	Rychlé polohování
G01	Lineární interpolace
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G04	Časová prodleva
G17	Volba pracovní roviny X-Y
G18	Volba pracovní roviny X-Z
G19	Volba pracovní roviny Y-Z
G21	Prázdný blok
G23	Podmíněný skok
G24	Programování poloměrů
G25	Skok do podprogramu
G26	Programový cyklus
G27	Programový skok
G28	Skok do jiného programu
G31	Najetí na sondu
G33	Řezání závitů
G50	Zrušení lokálního souřadného systému
G51	Nastavení lokálního souřadného systému
G61	Hrubování kuželové plochy
G62	Hrubování rádiusu vydutého
G63	Hrubování rádiusu vypuklého
G64	Podélný hrubovací cyklus
G66	Zapichovací cyklus
G68	Čelní hrubovací cyklus
G72	Obdélníkový cyklus
G73	Cyklus vrtání s prodlevou
G78	Závitovací cyklus
G79	Závitovací cyklus šikmým přísuvem
G81	Vrtací cyklus
G83	Vrtací cyklus s výplachem
G85	Vystružovací cyklus
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální (přírůstkové) programování
G92	Zadání momentální polohy nástroje v osách X a Z, definice počátku souřadného systému
G94	Posuv v jednotkách mm/min
G95	Posuv v jednotkách mm/ot.
G96	Konstantní řezná rychlost
G98	Najetí do referenčního bodu

Tab. 13: G-kód[46]

M-kód tvoří doplňující funkce, které představují různé vedlejší funkce důležité pro ovládání stroje (tab. 14).

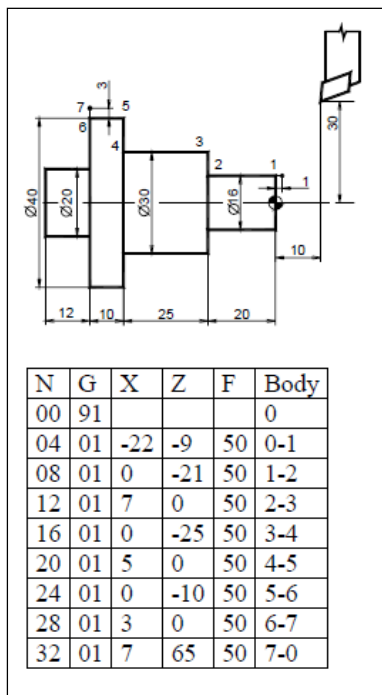
Název	Popis	Parametry	Příklad
M0	Stop programu	---	M0
M1	Podmíněný stop	P	M1
M3	Zapnutí vřetene doprava (CW)	S	M3 S1500
M4	Zapnutí vřetene doleva (CCW)	S	M4 S1500
M5	Vypnutí vřetene	S	M5
M6	Výměna nástroje	D;Z;T	M6 D8 Z0 T1
M7	Zapnutí vysavače	---	M7
M8	Zapnutí chlazení	---	M8
M9	Vypnutí vysavače a chlazení	---	M9
M29	Výpis textové zprávy na displej stroje (neimplementováno)	text	M29 Prosím, otočte obrobek
M30	Konec programu (jako M2)	---	M8
M98	Skok do podprogramu	O	M98 0100
M99	Návrat z podprogramu	---	M99

Tab. 14: M-kód [46]

## 6.5 Příklad generování G-kódu

Při tvorbě nebo exportu programu používáme dva způsoby programování.

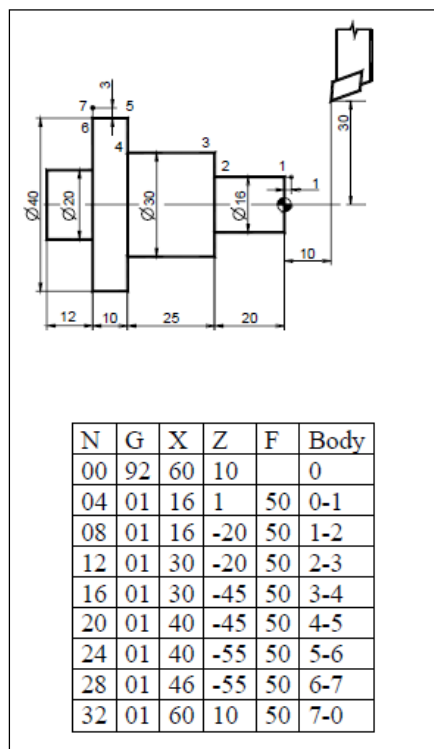
První z možností je posuv INKREMENTÁLNÍ (obr. 71), který je vždy počítán od nuly a pomocí přírůstkových hodnot řeší další pohyby.



Obr. 71: Inkrementální rozložení G kódu [17]



Druhou možností programování je ABSOLUTNÍ (obr. 72). Pohyb nástroje postupuje přes všechny body do výchozího bodu.



Obr. 72: Absolutní rozložení G kódu [17]



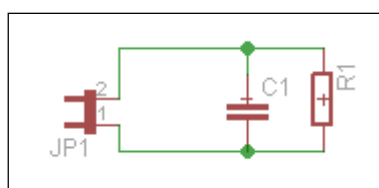
## 7 Program EAGLE

Program EAGLE Easily Applicable Graphical Layout Editor je velmi rozšířeným nástrojem pro výrobu desek plošných spojů. Jeho hlavní vlastnosti jsou:

- největší rozměr výkresu 1.6 x 1.6 m (64 x 64 inch)
- rozlišení 1/10.000 mm (0,1 mikronu)
- až 16 signálových vrstev
- klasické i SMD součástky
- dodává se s plnou sadou knihoven součástek
- snadné vytváření vlastních součástek v plně integrovaném editoru knihoven
- funkce vpřed/vzad pro LIBOVOLNÝ editační příkaz do libovolné hloubky
- skriptové soubory pro dávkové zpracování příkazů
- poměření ploch
- kontrola pravidel návrhu
- až 99 listů jednoho schématu
- kontrola elektrických pravidel zapojení
- prohazování hradel a pinů
- vytvoření desky ze schématu jediným příkazem
- Postskript
- pérové plotery
- plotery Gerber
- soubory pro vrtačky Excellon a Sieb&Meyer

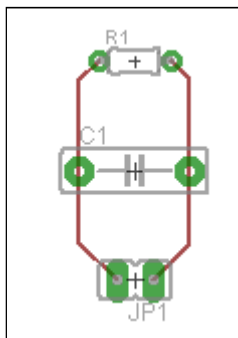
V laboratořích VUT se výhradně používá tento návrhový software. Z tohoto programu bude exportovaná vrtací matrice v podobě G-kódů.

Názorný příklad je demonstrován na jednoduchém schématu pro přehlednost jednotlivých pozic vrtacích otvorů. Pro demonstraci je použito následující jednoduché schéma (obr. 73).



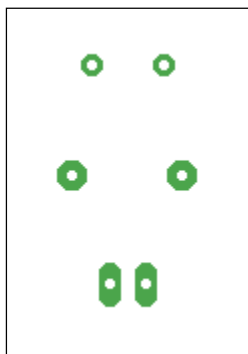
Obr. 73: Schéma zapojení

Následně je ze schématu vytvořen board, který má reálné rozteče vrtacích otvorů (obr. 74).



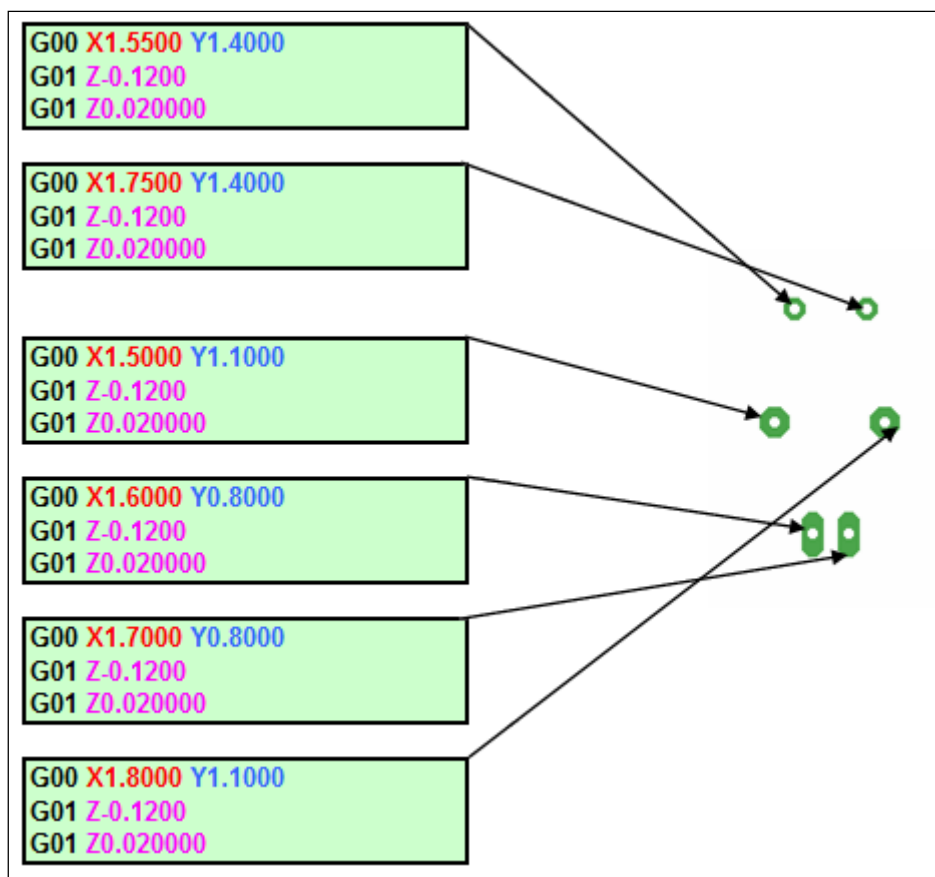
Obr. 74: Vytvoření DPS

Pro názornost jednotlivých otvorů jsou odstraněny všechny součástky a měděné spoje (obr. 75).



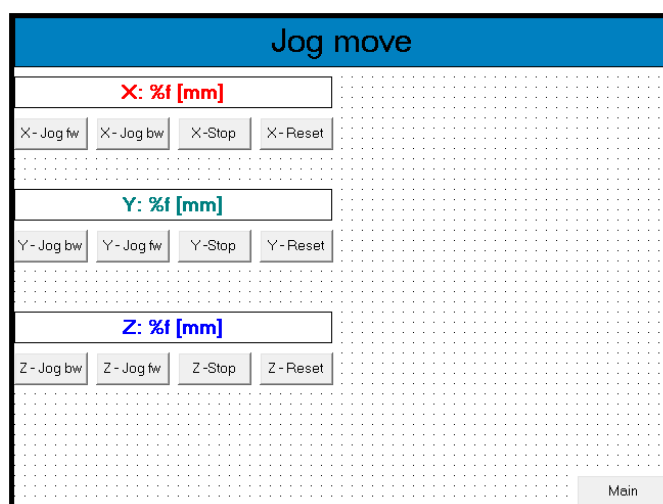
Obr. 75: Rozmístění děr na DPS

Pro generování G-kódů je použito protokolu ULP, který je součástí programu EAGLE. Protokol ULP vytváří výstupní formáty pro různé druhy strojů v různých formátech. Pro vytváření G-kódu z DPS jsem použil zdrojového souboru `pcb_to_gkod.ulp`, který automaticky vygeneruje výstupní textový soubor `drill.nc`. Výsledek jednotlivých pozic je znázorněn na (obr. 76). Z výstupních dat je zřejmé, že se jedná o absolutní pozice jednotlivých vrtacích otvorů.



Obr. 76: Popis jednotlivých otvorů pomocí G kódů

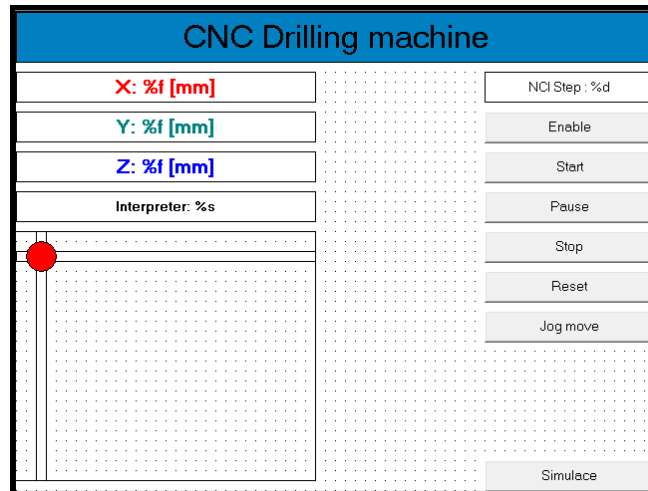
Tento kód je dále vložen do programu TwinCAT pomocí aplikace, která obsluhuje celý běh procesu. Obsluha programu pro vrtání DPS se dělí na dvě části. První část obsahuje ruční pohyb jednotlivých os na námi zvolenou pozici (obr. 77).



Obr. 77: Manuální pohyb jednotlivých os

Tento mód slouží k nastavení vrtáku do nulové pozice. Tato pozice je na DPS označena křížkem. Pokud je vrták nastavený na danou pozici, můžeme přepnout aplikaci do automatického režimu. Tento režim umožňuje načíst výše uvedený G-kód ze souboru. Tlačítkem ENABLE zapneme vřeteno a motory připravíme do stabilní polohy (obr. 78). Tlačítkem START spustíme dávkování jednotlivých kódů do systému. Dále můžeme program pozastavit stisknutím tlačítka PAUSE. V tomto

okamžiku se zastaví celý proces přesně v dané situaci. Po opětovném stisknutí tlačítka START bude program pokračovat dále. Tlačítko RESET slouží ke kompletnímu stornování vrtacího řetězce a v tuto chvíli se program opět vrací na první řádek kódu. Zařízení je velmi jednoduché a intuitivní. Pro jednoduchost je na CNC stroji vytvořeno pravítko, které přesně určuje nulový bod osy X a Y. Po nastavení plošného spoje nejsou nutné žádné korekce a zařízení můžeme ihned použít v automatickém režimu, v režimu vrtání.



Obr. 78: Ovládání stroje

## 8 Cenová kalkulace

Cenová kalkulace je stanovena pro výrobu jednoho stroje. Je rozdělena na část strojní a elektro viz tab. 15, tab. 16.

mechanická část	sada/mj	cena za sadu/mj	cena za položku	mezivýsledek
<b>Základový stůl</b>				<b>18 280 Kč</b>
Hliníkové části	1	12 500 Kč	12 500 Kč	
Ocelové části	1	2 300 Kč	2 300 Kč	
Spojovací materiál	1	980 Kč	980 Kč	
Práce výroby	1	2 500 Kč	2 500 Kč	
<b>osa X</b>				<b>23 050 Kč</b>
Hliníkové části	1	4 900 Kč	4 900 Kč	
Ocelové části	1	520 Kč	520 Kč	
Spojovací materiál	1	690 Kč	690 Kč	
Práce výroby	1	1 300 Kč	1 300 Kč	
Ložiska	3	290 Kč	870 Kč	
Kuličkový šroub	1	1 800 Kč	1 800 Kč	
Matice pro kuličkový šroub	1	450 Kč	450 Kč	
Lineární vedení	2	3 800 Kč	7 600 Kč	
Vozíky pro lineární vedení	4	1 230 Kč	4 920 Kč	
<b>osa Y</b>				<b>27 280 Kč</b>
Hliníkové části	1	4 200 Kč	4 200 Kč	
Ocelové části	1	1 200 Kč	1 200 Kč	
Spojovací materiál	1	340 Kč	340 Kč	
Práce výroby	1	5 900 Kč	5 900 Kč	
Ložiska	3	290 Kč	870 Kč	
Kuličkový šroub	1	1 800 Kč	1 800 Kč	
Matice pro kuličkový šroub	1	450 Kč	450 Kč	
Lineární vedení	2	3 800 Kč	7 600 Kč	
Vozíky pro lineární vedení	4	1 230 Kč	4 920 Kč	
<b>osa Z</b>				<b>27 330 Kč</b>
Hliníkové části	1	6 200 Kč	6 200 Kč	
Ocelové části	1	1 200 Kč	1 200 Kč	
Spojovací materiál	1	390 Kč	390 Kč	
Práce výroby	1	3 900 Kč	3 900 Kč	
Ložiska	3	290 Kč	870 Kč	
Kuličkový šroub	1	1 800 Kč	1 800 Kč	
Matice pro kuličkový šroub	1	450 Kč	450 Kč	
Lineární vedení	2	3 800 Kč	7 600 Kč	
Vozíky pro lineární vedení	4	1 230 Kč	4 920 Kč	
<b>Celkem bez DPH část strojní</b>				<b>95 940 Kč</b>

Tab. 15: Cenová kalkulace strojní

<b>Elektro část</b>	<b>sada/mj</b>	<b>cena za sadu/mj</b>	<b>cena za položku</b>	<b>mezivýsledek</b>
<b>osa X</b>				<b>7 085 Kč</b>
Konektor AMP kabelový	1	450 Kč	450 Kč	
Konektor AMP panelový	1	450 Kč	450 Kč	
Kabeláž pohyblivá	1	790 Kč	790 Kč	
Energetický řetěz	1	890 Kč	890 Kč	
IRC	1	2 300 Kč	2 300 Kč	
Krokový motor Sanyo Denki	1	1 380 Kč	1 380 Kč	
Koncové spínače	3	45 Kč	135 Kč	
Total Stop	1	690 Kč	690 Kč	
<b>osa Y</b>				<b>6 395 Kč</b>
Konektor AMP kabelový	1	450 Kč	450 Kč	
Konektor AMP panelový	1	450 Kč	450 Kč	
Kabeláž pohyblivá	1	790 Kč	790 Kč	
Energetický řetěz	1	890 Kč	890 Kč	
IRC	1	2 300 Kč	2 300 Kč	
Krokový motor Sanyo Denki	1	1 380 Kč	1 380 Kč	
Koncové spínače	3	45 Kč	135 Kč	
<b>osa Z</b>				<b>6 395 Kč</b>
Konektor AMP kabelový	1	450 Kč	450 Kč	
Konektor AMP panelový	1	450 Kč	450 Kč	
Kabeláž pohyblivá	1	790 Kč	790 Kč	
Energetický řetěz	1	890 Kč	890 Kč	
IRC	1	2 300 Kč	2 300 Kč	
Krokový motor Sanyo Denki	1	1 380 Kč	1 380 Kč	
Koncové spínače	3	45 Kč	135 Kč	
<b>Vřeteno</b>				<b>8 780 Kč</b>
Konektor AMP kabelový	1	450 Kč	450 Kč	
Konektor AMP panelový	1	450 Kč	450 Kč	
Kabeláž pohyblivá	1	790 Kč	790 Kč	
Energetický řetěz	1	890 Kč	890 Kč	
Vřeteno Atas	1	3 900 Kč	3 900 Kč	
IRC	1	2 300 Kč	2 300 Kč	



Elektro část	sada/mj	cena za sadu/mj	cena za položku	mezivýsledek
<b>Vybavení racku</b>				<b>111 840 Kč</b>
Rozváděčová skříň	1	4 200 Kč	4 200 Kč	
Napájecí zdroj spínaný 24V/3A	1	2 100 Kč	2 100 Kč	
Napájecí zdroj ATX PC 200W	1	590 Kč	590 Kč	
Napájecí zdroj 35V/600W toroid	1	890 Kč	890 Kč	
Diodový usměrňovač	1	45 Kč	45 Kč	
Elektrolytické kondenzátory	1	129 Kč	129 Kč	
PC litel Vally	1	1 590 Kč	1 590 Kč	
HDD	1	1 200 Kč	1 200 Kč	
RAM	1	670 Kč	670 Kč	
PCI real time Ethernet card	1	3 400 Kč	3 400 Kč	
PLC BK 9100	1	11 200 Kč	11 200 Kč	
KL 1408 DI	1	1 430 Kč	1 430 Kč	
KL 2408 DO	1	1 430 Kč	1 430 Kč	
KL2541	3	11 300 Kč	33 900 Kč	
TwinCAT RunTime NC-I	1	42 500 Kč	42 500 Kč	
Kabeláž	1	5 900 Kč	5 900 Kč	
Jistič LSN 13B/1	1	130 Kč	130 Kč	
Jistič LSN 4B/1 DC	3	130 Kč	390 Kč	
Hl. vypínač	1	59 Kč	59 Kč	
Kontrolka led	3	29 Kč	87 Kč	
<b>Celkem bez DPH část elektro</b>				<b>140 495 Kč</b>

Tab. 16: Cenová kalkulace elektro

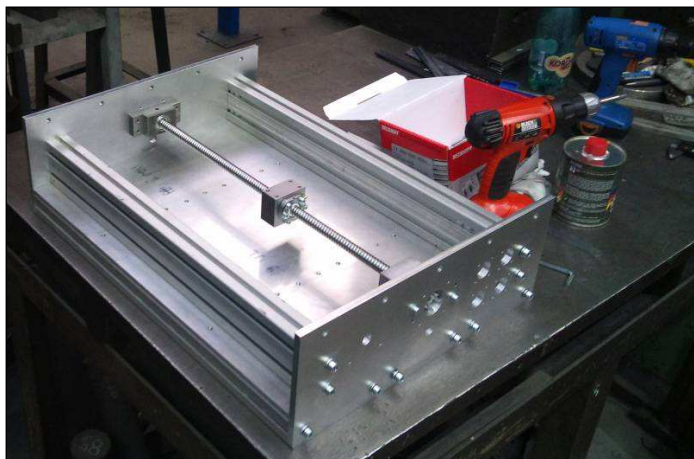
Celková cena za celý stroj je 236.435 Kč bez DPH

Celková cena za celý stroj je 283.722 Kč s 20% DPH



## 9 Uvádění do provozu

Zavádění do provozu bylo jednou z nejtěžších obtíží. Při sestavování základního stolu byla spousta problémů, které bylo nutné řešit. Mechanická část byla sestavována postupně, podle vyráběných dílů ve výrobě. Nejprve byl složen základní stůl (obr. 79). Byly sestaveny jednotlivé profily 160 x 40 k základové desce o velikosti 640 x 480 mm. Dále byly sesazeny bočnice, které tvoří základní rám stolu. Kuličkový šroub, který posouvá osu X, je sesazen uvnitř bočnic. Dva profily po bocích stroje slouží k uchycení lineárního vedení. Velice důležitá je zde čistota jednotlivých dílů, které jsou k sobě montovány.



*Obr. 79: Základní stůl*

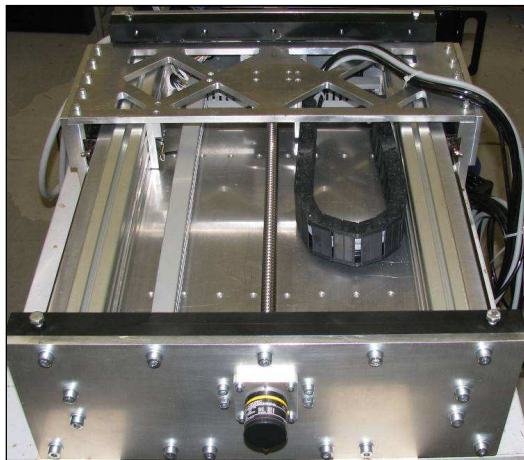
Základní stůl bylo nutné složit na rovné ocelové desce, která zajistí rovinu všech montovaných dílů. Finální rovinnost lineárních vedení budeme seřizovat pomocí „úchylkoměru“.

Kuličkový šroub je uchycen na obou stranách v kuličkových ložiscích (obr. 79). Na jedné straně je uchycený krokový motor (obr. 80).



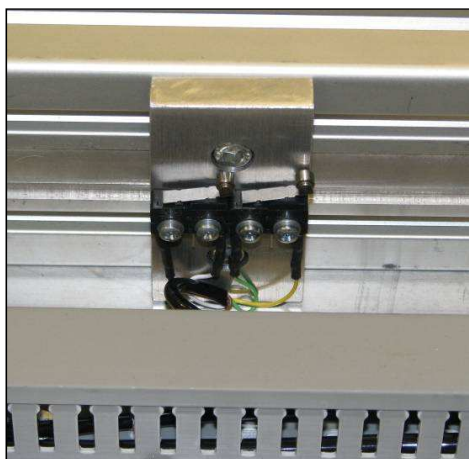
*Obr. 80: Umístění krokového motoru*

Na druhé straně kuličkového šroubu je instalován inkrementální snímač pomocí pružné spojky (obr. 81), která odstraní možné vibrace a nerovnosti na hřídeli.



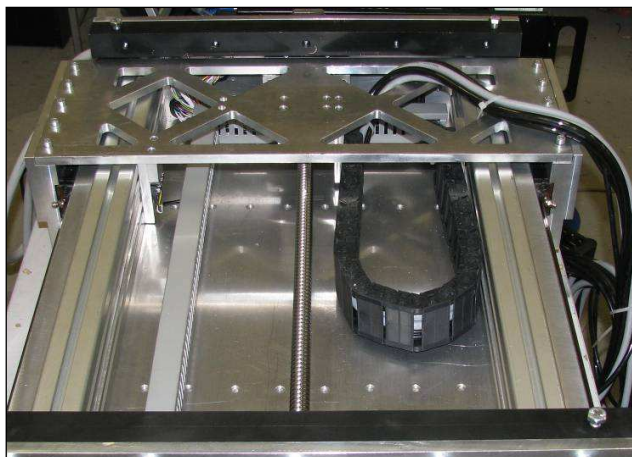
*Obr. 81: Umístění IRC snímače*

Na levém hliníkovém profilu jsou instalovány koncové spínače (obr. 82), které zajišťují havarijní vypnutí v případě selhání systému, a jeden spínač pro kalibraci osy. Kalibrační spínač je vždy aktivován při zapnutí stroje a vždy, když se zahájí činnost vrtání popřípadě obrábění.



*Obr. 82: Umístění spínačů*

Elektroinstalace je na ose X vedena v pevných elektroinstalačních žlabech (obr. 82). Osa Y a Z je umístěna na portále X. Musíme zajistit přívod elektrického proudu pro tyto dvě osy. Pomocí energetického řetězu je realizován přenos elektrického proudu pro pohyblivé osy (obr. 83).



*Obr. 83: Elektroinstalace*

Tato sestava tvoří celou osu X, která pohybuje portálem, na kterém je umístěna osa Y a Z (obr. 84).



*Obr. 84: Sestava CNC stroje*

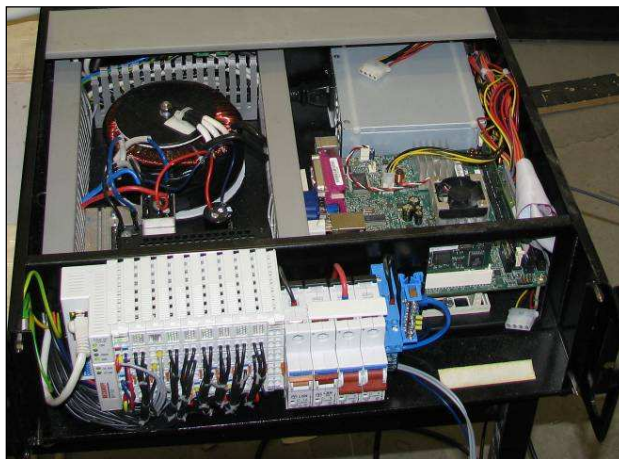
Elektroniku pro tento stroj je umístěna do devatenácti palcové skříně o velikosti 3U (obr. 85), kterou je pak možné vložit do typového rackového rozvaděče. Na přední straně rozvodnice je umístěno:

- PLC
- jištění osy X LSN 4B/1
- jištění osy Y LSN 4B/1
- jištění osy Z LSN 4B/1
- hlavní jistič LSN 13B/1
- kontrolka stavu zapnuto
- kontrolka stavu chyby
- kontrolka stavu frézování

Přední panel je z průhledného materiálu pro lepší informaci stavu PLC.

Na zadní straně rozvodnice jsou umístěny:

- vstupní kabel 230V
- výstupní kabel osa X
- výstupní kabel osa Y
- výstupní kabel osa Z



*Obr. 85: Řídicí systém pro CNC stroj*

## 10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout CNC vrtačku, která bude vrtat desky plošných spojů. G-kód programu EAGLE je vyexportován do programu TwinCAT, který dále řídí krokové motory CNC vrtačky. Mým úkolem bylo navrhnout elektroniku této části stroje a realizovat její funkci. Elektrickou část se mi povedlo uvést do provozu a je plně funkční. Vzhledem k podpoře firmy Prosoton, s.r.o. a VUT jsem mohl sestavit alespoň jednu osu X, abych demonstroval pohyb osy X. Osu Y, Z jsem zprovoznil pouze demonstračně, aby tvořila celou sestavu pro řídicí systém a funkci řídicího systému. Dokončení realizace bude probíhat až ve čtvrtém kvartále roku 2011. Na další možnosti zlepšení stroje bylo myšleno již při návrhu systému.

Co se týká elektrického vybavení, tak řízení stroje je dnes na velmi vysoké úrovni. Spíše můžeme říci, že soustředění na lepší ekonomické výsledky brzdí mechanické možnosti stroje, popřípadě dynamiku krokového motoru. Je zřejmé, že klasické posuvy jednotlivých os se blíží na hranici svých možností v oblasti obráběcích center.

Pro tento projekt jsou mechanické součásti dostačující. V budoucnu se stroj bude využívat i pro drobné obrábění lehkých slitin. Pro tento případ bude nutné na stroji přidat chlazení pomocí emulze a odvod chladicí kapaliny ze základové desky stolu. Řídicí systém je již vybaven výstupní kartou, která dále může řídit spuštění oběhového čerpadla.

Další možné zlepšení pro CNC vyvrtávačku je odsávání odfrézovaného materiálu. Na toto řešení je opět myšleno prostorem na stroji.

Pokud stroj bude používán jako frézka pro lehké slitiny, bude nutné doprogramovat velikosti nástrojů pomocí M kódů.





## 11 Použitá literatura

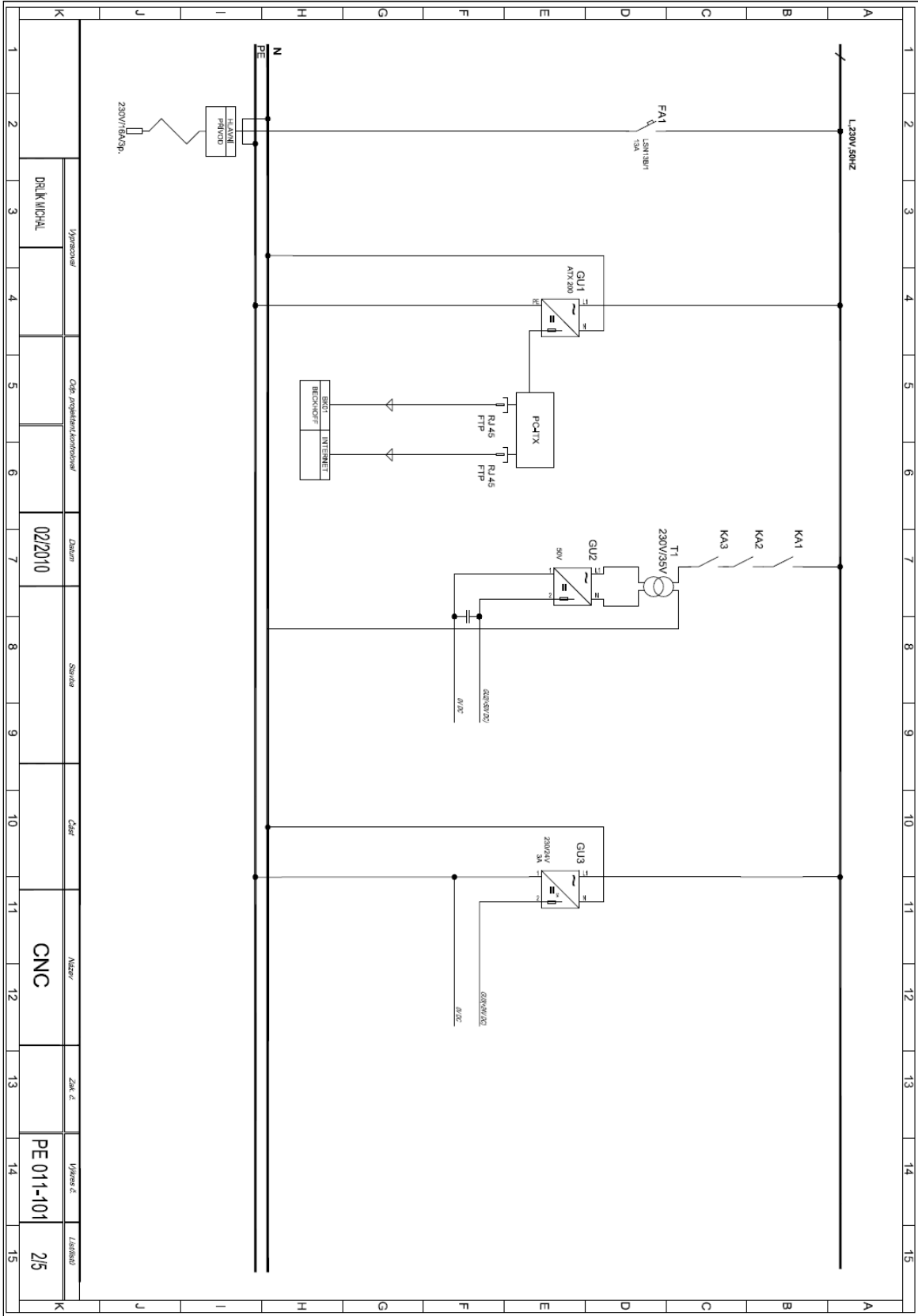
- [1] SCHMID, D. a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles cz., s.r.o., 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [2] BECKHOFF. Webová stránka projektu [online]. Dostupný z: <<http://www.beckhoff.com>>.
- [3] NAVAJO. *Děrné štítky, otevřená encyklopedie* [online]. Dostupný z: <<http://derny-stitek.navajo.cz/>>.
- [4] TECHNICKÝ TÝDENÍK [online]. [cit. 2. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.techtydenik.cz/akademie.php?part=22>>.
- [5] KELLER, P. *Programování a řízení CNC strojů* [online]. Dostupný z: <<http://www.kvs.tul.cz/>>.
- [6] KROKOVÉ MOTORY [PDF dokument]. [cit. 2. února 2011]. Dostupný z: <[http://fei1.vsb.cz/kat453/www453/soubory/texty/ucebni\\_texty/se/cast\\_C\\_el\\_pohony/se\\_eph\\_c1\\_krokac\\_02\\_teorie.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat453/www453/soubory/texty/ucebni_texty/se/cast_C_el_pohony/se_eph_c1_krokac_02_teorie.pdf)>.
- [7] REGULACE KROKOVÝCH MOTORŮ [online]. [cit. 2. února 2011]. Dostupný z: <[http://www.regulacni-pohony.cz/data/km\\_2ph.html](http://www.regulacni-pohony.cz/data/km_2ph.html)>.
- [8] CNC STROJE [online]. [cit. 10. února 2011]. Dostupný z: <<http://valter.by1.cz/pid.html>>.
- [9] CNC STROJE [online]. [cit. 12. února 2011]. Dostupný z: <<http://cnc-hobby.cz/cnc1.htm>>.
- [10] CNC FÓRUM [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.c-n-c.cz/>>.
- [11] HIWIN *Kuličkové šrouby* [online]. [cit. 10. března 2011]. Dostupný z: <<http://www.hiwin.cz/>>.
- [12] CAP *Hliníkové profily* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://shop.aluprofil.com/de\\_AT/shop/Baureihe\\_8/Profile\\_8/ART01516\\_Profil\\_8\\_80x80\\_schwer.html#](http://shop.aluprofil.com/de_AT/shop/Baureihe_8/Profile_8/ART01516_Profil_8_80x80_schwer.html#)>.
- [13] CNC SOUSTRUH [online]. Dostupný z: <<http://dilna.aeromni.com/images/cil.jpg>>.
- [14] ČKD, *Karusel* [online]. Dostupný z: <<http://www.ckdblansko.cz>>.
- [15] ARKOV, *Ložiska* [online]. Dostupný z: <[http://zbozi.arkov.cz/pictures/wm/9594/9594\\_7000-7040.jpg](http://zbozi.arkov.cz/pictures/wm/9594/9594_7000-7040.jpg)>.
- [16] OMRON, *irc snímač*. [online] [PDF dokument]. Dostupný z: <[http://www.omronexpress.com/product\\_pdf/197\\_0.pdf](http://www.omronexpress.com/product_pdf/197_0.pdf)>.
- [17] KELLER, P. *Programování a řízení CNC strojů*. [online] [PDF dokument]. Dostupný z: <[http://stare.kvs.tul.cz/download/obor/pnc\\_2.pdf](http://stare.kvs.tul.cz/download/obor/pnc_2.pdf)>.

- [18] ROBOTIKA, *Konstrukce CNC* [online] [PDF dokument]. Dostupný z: <<http://www.robotika.sk/events/10svoc/KOSTROS.pdf>>.
- [19] HLOUŠ, J. *Řídicí jednotka pro malé DC motory s univerzálním softwarovým rozhraním*. Brno, 2008. 84 s. Diplomová práce na fakultě strojního inženýrství na ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.
- [20] *Děrný šúitek* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.tcf.ua.edu/AZ/Census03.jpg>>.
- [21] MCU *CNC stroj*[online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://mcu.cz/images/newspost\\_images/19/45/mill.jpg](http://mcu.cz/images/newspost_images/19/45/mill.jpg)>.
- [22] CNCTAR, *CNC stroj* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://www.cnctar.hunbay.com/HJozsi/Eszterga/CNC/Hobby%20CNC%20Fair%20Hungary\\_09.JPG](http://www.cnctar.hunbay.com/HJozsi/Eszterga/CNC/Hobby%20CNC%20Fair%20Hungary_09.JPG)>.
- [23] CNC Hobby, *CNC pevný portál*. [online] [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://www.cnc-hobby.cz/f8\\_files/F8a.jpg](http://www.cnc-hobby.cz/f8_files/F8a.jpg)>.
- [24] CNC Hobby, *CNC pohyblivý portál* [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <[http://www.cnc-hobby.cz/F11\\_files/f13.jpg](http://www.cnc-hobby.cz/F11_files/f13.jpg)>.
- [25] THK, *Kuličkový šroub* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://www.thk.com/images/uk/product/class/ball\\_screw/dinballscrew\\_01.jpg](http://www.thk.com/images/uk/product/class/ball_screw/dinballscrew_01.jpg)>.
- [26] ČKD BLANSKO, *Karusel* [online] [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[www.ckd.cz](http://www.ckd.cz)>.
- [27] SIEMENS, *Servoměniče* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.spea-servis.cz/images/css/simodrive.gif>>.
- [28] ENIKA, *Krokový motor* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://www.enika.cz/images/vyrobky/obrazek\\_13388\\_fullsize.jpg](http://www.enika.cz/images/vyrobky/obrazek_13388_fullsize.jpg)>.
- [29] ROBOTIKA, *Krokový motor unipolární* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://robotika.cz/articles/steppers/uni\\_sch.gif](http://robotika.cz/articles/steppers/uni_sch.gif)>.
- [30] OBDORNÉ ČASOPISY, *AC motor* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/imagesold/e1106402.gif>>.
- [31] TECHNOLINE, *Indukční snímače* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://eshop.technoline.cz/shop/full/img1032.jpg>>.
- [32] AUTOMATIZACE, *Optoelektrický snímač*. [online] [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <[http://www.automatizace.cz/images/article/1212\\_hkn.jpg](http://www.automatizace.cz/images/article/1212_hkn.jpg)>.
- [33] PSELECTRONIC, *Koncový spínač* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <<http://www.pselectronic.cz/psobr/3000/30000076.jpg>>.
- [34] GOOGLE, *Kabelový kryt* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQJmbKbd4mL7iBWobNoy\\_iKF\\_mJw\\_qDrgJsFfJ\\_q3SILTpCVvn0](http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQJmbKbd4mL7iBWobNoy_iKF_mJw_qDrgJsFfJ_q3SILTpCVvn0)>.

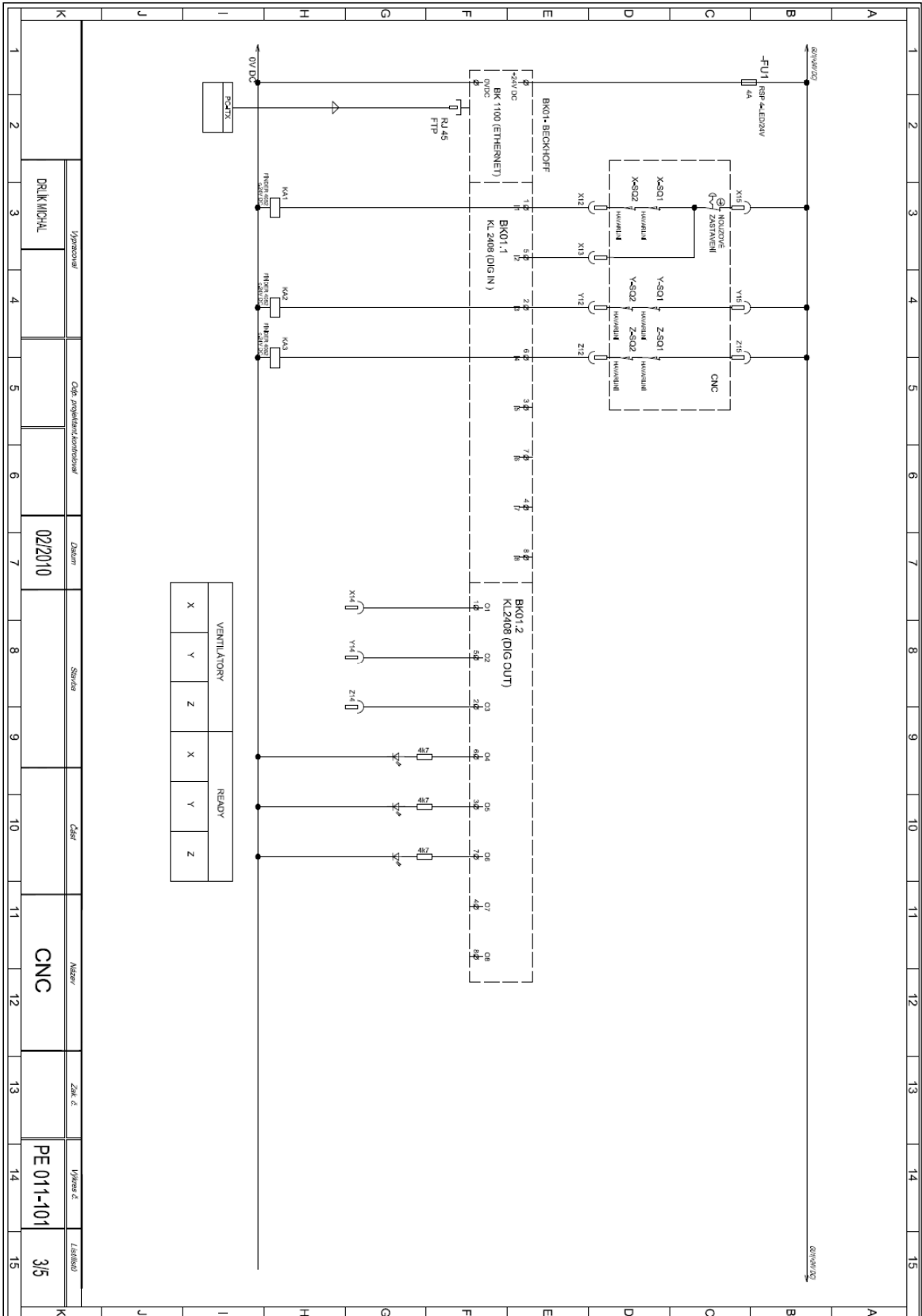
- [35] GOOGLE, *Kabely* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT3hpMDC-DkZz\\_HkRaU1xPQ76PnpjXFjQsxRm917ebxbYgBp1K8tg](http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT3hpMDC-DkZz_HkRaU1xPQ76PnpjXFjQsxRm917ebxbYgBp1K8tg)>.
- [36] GOOGLE, *Kvadraterní režim* [online]. [cit. 6. února 2011]. Dostupný z: <[http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTf-JjUEsbCNcAwstxZmk\\_4yY0W9TTWU7Hz26OKmGESMYmEKaqypw](http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTf-JjUEsbCNcAwstxZmk_4yY0W9TTWU7Hz26OKmGESMYmEKaqypw)>.
- [37] ELCAD, *Eagle* [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <<http://www.elcad.cz/eagle/>>.
- [38] DRLÍK, M. *Řízení divadelní točny*. Brno, 2009. 69 s. Bakalářská práce na fakultě VUT v Brně na ústavu automatizace a informatiky. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [39] ITEM, *hliníkové profily* [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <[http://catalog.item24.us/index.php?cat=c1000018499\\_MB-Building-Kit-for-Mechanical-Engineering.html](http://catalog.item24.us/index.php?cat=c1000018499_MB-Building-Kit-for-Mechanical-Engineering.html)>.
- [40] ATAS, *vysokootáčkové synchronní motory* [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <<http://www.atas.cz/products.php?sekce=2&menuid=15&lng=cz>>.
- [41] CNC Shop, *produkty* [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <[www.cncshop.cz](http://www.cncshop.cz)>.
- [42] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*: MM publishing, 2006. 284 s. ISBN 12122572.
- [43] SVOC 2010 *Návrh a realizácia trojosej CNC frézy* [online]. [PDF dokument]. Dostupný z: <<http://www.robotika.sk/events/10svoc/KOSTROS.pdf>>.
- [44] REX CONTROL *Průmyslové PID regulátory* [online]. [PDF dokument]. Dostupný z: <[http://www.rexcontrols.com/downloads/clanky/PIDTutor\\_CZ.pdf](http://www.rexcontrols.com/downloads/clanky/PIDTutor_CZ.pdf)>.
- [45] CHUDOBA, M. *Základy programování a obsluha CNC strojů* [online]. [PDF dokument]. Dostupný z: <[http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl\\_prog.pdf](http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl_prog.pdf)>.
- [46] TECHTRONEX – G-kody M-kody CNC strojů [online]. [cit. 6. února 2011] Dostupný z: <<http://www.techtronex.cz/cz/g-kody.php>>.







1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
DRLK MICHAL		Datum		02/20/10		Strana		Číslo		Město		Znak č.		Učísloví	
DRLK MICHAL		02/20/10		CNC		CNC		PE 011-101		2/5					



Ispisoval		Čelo projektanta/autorovatel		Datum		Strana		Číslo		Název		Znač. č.		Umístění č.		List číslo	
DRUK MICHAL				02.20.10						CNC				PE 011-101		35	

