



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**MODERNIZACE ŘÍDÍCÍHO CNC SYSTÉMU FRÉZKY EMCO**

THE MODERNIZATION OF CNC SYSTEM OF MILLING MACHINE EMCO

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTORPRÁCE**

AUTHOR

Bc. Vítězslav Kučera

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. František Bradáč, Ph.D.

BRNO 2020





# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Vítězslav Kučera**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. František Bradáč,**  
Ph.D. Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Modernizace řídicího CNC systému frézky EMCO

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky se nachází CNC frézka of firmy EMCO. Frézka je vybavená zastaralým řídicím systémem EMCOTronic. Úkolem je navržení povýšení tohoto stroje o nový řídicí CNC systém včetně návrhu vlastního programového řízení.

### Cíle diplomové práce:

Současný stav řešené problematiky.

Systémový rozbor problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu. Návrh variant nového řešení.

Technicko–ekonomické posouzení variant řešení. Výběr varianty řešení.

Návrh elektrických schémat zadaného zařízení a řídicího systému. Návrh CNC řízení včetně HMI vizualizace.

Vlastní závěry (návrh nového řešení) a/nebo doporučení.

### Seznam doporučené literatury:

Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-802-6067-801.

BECKHOFF New Automation Technology [online]. Verl, Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.com/>

Beckhoff Information System [online]. Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-14]. Dostupné z: [https://infosys.beckhoff.com/index\\_en.htm](https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm)

SIEMENS, Mikrosystémy,

<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=e19daf5474&ctxp=home>, přístup 30.9.2016

EMCO Intos: EMCO Werkzeugmaschinen Drehmaschinen Fräsmaschinen zum CNC Drehen und Fräsen [online]. Hallein, Österreich: EMCO group, 2018 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.emco-world.cz/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá modernizací řídicího systému frézky EMCO. Teoretické část je zaměřena na popis základních informací o CNC strojích a aktuálním stavu řídicího systému frézky EMCO. Stěžejním bodem této práce je návrh variant nového řídicího systému pro danou frézku, kde jsou navržené varianty popsány a porovnány jak složitostí konstrukce, tak cenou. Z navržených variant je vybrána ta, která nejvíce vyhovuje posuzovaným parametrům. Ve vývojovém rozhraní TwinCAT od společnosti Beckhoff je dále vytvořen nový řídicí systém, který je popsán v závěru práce.

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with the modernization of the EMCO milling machine control system. The theoretical part is focused on the basic description of CNC machine and current state of EMCO milling machine control system. The main point of this thesis is new control system design for given milling machine, when the proposed variants are described and compared according to construction and price. The one variant is selected that best suits the specified parameters. Also, in the TwinCAT development interface from Beckhoff the new control system is created and described in the end of this work.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

CNC stroje, frézka EMCO, krokové motory, Beckhoff, TwinCAT

## **KEYWORDS**

CNC machine, EMCO milling machine, stepper motors, Beckhoff, TwinCAT





## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KUČERA, Vítězslav. Modernizace řídicího CNC systému frézky EMCO. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125111>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce František Bradáč.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Františka Bradáče, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.6.2020

.....

Kučera Vítězslav

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>18</b>
3.1	CNC obráběcí stroje.....	18
3.1.1	Vývojové generace CNC strojů .....	18
3.2	Rozdělení podle složitosti drah .....	19
3.2.1	Systémy s přetržitým řízením .....	19
3.2.2	Systémy se souvislým řízením .....	19
3.3	Pohonné jednotky CNC strojů .....	21
3.3.1	Krokové motory .....	21
3.3.2	Hybridní konstrukce krokového motoru .....	21
3.3.3	Způsoby zapojení krokových motorů .....	22
3.3.4	Mikrokrokování .....	23
3.4	Servopohony .....	23
3.5	Odměřování .....	24
3.6	Funkce řízení obráběcího stroje .....	26
3.6.1	Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení .....	26
3.6.2	Provozní režimy CNC obráběcích strojů .....	27
3.6.3	Souřadnicové systémy .....	28
3.6.4	Korekční parametry nástroje .....	30
3.6.5	Interpolace a inkrement .....	30
3.6.6	Piktogramy při obsluze CNC stroje .....	31
3.6.7	Zjišťování nulového bodu obrobku .....	31
3.6.8	Programování NC kódu .....	32
3.7	Řídící systémy CNC obráběcích strojů.....	32
3.7.1	Siemens Sinumerik .....	32
3.7.2	Fanuc .....	33
3.7.3	Heidenhain.....	33
<b>4</b>	<b>ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU FRÉZKY VMC 100</b> .....	<b>34</b>
4.1	Vřeteno.....	35
4.2	Pohony os.....	35
4.3	Stůl .....	35
4.4	Výměna nástrojů .....	35
4.5	Řídící systém.....	36
4.6	Lubrikace vedení.....	36
4.7	Krytování .....	36
4.8	Krokové motory .....	37
4.8.1	Výpočet kroutícího momentu .....	38
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ</b> .....	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>VARIANTY ŘEŠENÍ</b> .....	<b>42</b>
6.1	Varianta 1 - zachování krokových motorů a jejich ovladačů .....	42
6.2	Varianta 2 - zachování krokových motorů .....	42
6.3	Varianta 3 - pořízení nových motorů .....	43
6.3.1	Servopohon .....	43
6.3.2	Krokový motor se zpětnou vazbou .....	45

6.3.3	Krokový motor bez zpětné vazby.....	46
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ VARIANT .....</b>	<b>47</b>
7.1	Technické zhodnocení variant.....	47
7.1.1	Jednotlivá kritéria hodnocení .....	47
7.2	Ekonomické zhodnocení .....	48
7.3	Celkové zhodnocení .....	49
<b>8</b>	<b>KOMPONENTY .....</b>	<b>50</b>
8.1	Průmyslový počítač .....	50
8.2	Coupler .....	50
8.3	Krokové motory.....	53
8.4	Break chopper.....	54
8.5	Zdroj pro krokové motory .....	54
8.6	Zdroj .....	54
8.7	Zdroj logika servozesilovače .....	54
8.8	Ovladač vřetena .....	55
8.9	Indukční snímač.....	55
8.10	Relé.....	55
8.11	Monitor .....	56
8.12	Periferie .....	56
<b>9</b>	<b>TVORBA PROGRAMU.....</b>	<b>57</b>
9.1.1	Struktura programu .....	57
9.1.2	Datové typy .....	57
9.1.3	Programovací jazyky .....	58
9.1.4	Použité knihovny .....	59
9.2	Vlastní program .....	60
9.2.1	Main .....	60
9.2.2	Zapnutí vřetene a posuvů os.....	60
9.2.3	Zastavení posuvů a vřetene .....	61
9.2.4	Manuální pohyb.....	61
9.2.5	Absolutní pohyb .....	62
9.2.6	Referování os.....	63
9.2.7	Zásobník nástrojů .....	64
9.2.8	NC Interpreter .....	66
9.2.9	NC Funkce.....	67
9.2.10	Korekce .....	68
9.2.11	Čtení pozice.....	69
9.2.12	Informační panel .....	70
9.2.13	Celková vizualizace.....	70
<b>10</b>	<b>NAPASOVÁNÍ SOFTWARE NA HARDWARE .....</b>	<b>72</b>
10.1	Nastavení parametrů krokových motorů .....	72
10.1.1	Nastavení I/O.....	73
	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>81</b>
12.1	Seznam použitých zkratk.....	81
12.2	Seznam použitých symbolů.....	82
12.3	Seznam tabulek.....	83

12.4	Seznam obrázků.....	83
<b>13</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

# 1 ÚVOD

V laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky se nachází CNC frézka od firmy EMCO. Frézka je vybavená zastaralým řídicím systémem EMCOTronic, který je potřeba vyměnit, aby mohla být frézka využívána.

Na frézce se nachází pětifázové krokové motory. Tyto motory mají oproti klasickým dvoufázovým motorům lepší vlastnosti. Díky použití pěti fází mají jemnější krok a netrpí tolik na rezonance. Jejich nevýhodou je složitá konstrukce a řízení, což se projevuje na jejich ceně. Tyto motory se dnes v průmyslu vyskytují ojediněle, proto je taky složité nalézt ovladače pro řízení těchto motorů.

V této práci budou navrženy tři varianty modernizace této frézky, které budou porovnány podle několika parametrů jak z technického, tak s cenového hlediska. Porovnávacími parametry jsou cena, plynulost, dynamika motoru a další. Z těchto navržených variant bude vybrána jedna, která bude nejvíce vyhovovat daným parametrům s přihlédnutím na cenu realizace dané varianty. Bohužel firma Beckhoff, od které jsou vybrány komponenty nedovoluje zveřejnit cenovou nabídku, proto budou ceny popsány pouze procentuálně.

Ve vývojovém prostředí TwinCAT bude vytvořen nový řídicí systém s rozhraním HMI umožňující nahrání programu do paměti stroje.



## 2 MOTIVACE

Výměnou řídicího systému by se stala frézka opět použitelná a mohla by se využít například v rámci výuky. Na frézce je v současnosti umístěn manipulátor pro výměnu obrobků. Použití PLC od firmy Beckhoff by tak umožňovala rozšíření řídicího systému frézky i o interakci s manipulátorem.

Motivací pro výběr této diplomové práce bylo prohloubení znalostí v rámci řídicích systémů.

## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 3.1 CNC obráběcí stroje

CNC (Computer Numeric Control) obráběcí stroje jsou zařízení, které jsou automatizovány pomocí počítačově číslicové řízení. Tyto stroje jsou obsluhovány přes ovládací panel nebo přímo přes NC interpreter, který čte instrukce z aktuálně běžícího programu. Tento program lze vytvořit přímo na stroji, avšak v dnešní době je generován automaticky pomocí externího PC ze 3D modelu a následně přesunut do CNC obráběcího stroje. Příklad CNC obráběcího stroje je na Obr. 1. [1]

Mezi výhody CNC obráběcích strojů patří [2]:

- Maximální pružnost – program je připravován externě, minimální požadavky na seřízení programu
- Vyšší produktivita
- Vyšší přesnost u složitějších tvarů
- Programy lze snadno a rychle měnit
- Odstranění lidského faktoru – odstranění chyb způsobených nepozorností nebo únavou
- Výroba složitých součástí



Obr. 1) CNC frézka MCV 800 Quick od firmy Kovosvit MAS [3]

#### 3.1.1 Vývojové generace CNC strojů

##### Stroje první vývojové generace

Tyto stroje byly odvozeny od běžných konvenčních strojů, a navíc doplněny o řídicí systém. Jako paměťové médium sloužila děrná páska, štítek nebo magnetická páska. Spolehlivost a přesnost strojů byla nízká, dnes se již stroje této generace nevyrábí. Součástí těchto strojů většinou nebyl počítač, proto se tyto stroje řadí spíše do NC strojů. [4] [2]

### Stroje druhé vývojové generace

Stroje druhé generace už byly konstruované od samého začátku pro číslicové řízení. Byly vybaveny automatickou výměnou nástrojů a dalšími periferiemi jako je například dopravník třísek. [4] [2]

### Stroje třetí vývojové generace

Pro tento vývojový stupeň je charakteristickým znakem uzpůsobení pro provoz v automatizovaných výrobních soustavách. To je důvod, proč má třetí vývojová generace automatickou výměnu obrobků. Jsou zde použity kuličkové šrouby a velkokapacitní zásobníky. [4] [2]

### Stroje čtvrté vývojové generace

Důležitým prvkem v této generaci je automatická výměna opotřebovaných nástrojů ze zásobníku. Čtvrtou vývojovou generaci lze považovat za zcela automatickou. Disponuje automatickou výměnou nástrojů, obrobků a manipulací s třískami. Systém sleduje výstupní parametry jako jsou řezné podmínky a drsnost povrchu, které vyhodnocuje a sám vyhledá optimální řezné podmínky pro zaručení požadovaného průběhu. [4] [2]

### Stroje páté vývojové generace

Oproti čtvrté generaci pátá přidává mechatronické prvky. Tím se rozumí elektronická kompenzace chyb polohování, měření rozměrů obrobku měřicími sondami během obrábění a korekci programu pro dodržení rozměrů a úchylek přesnosti. [4] [2]

### Stroje šesté vývojové generace

Vychází z předchozí generace se zaměřením na snižování času výměn nástroje a obrobků, konstrukci strojů na míru podle požadavků zákazníka, vysokorychlostní a suché (bez chladicí kapaliny) obrábění, dálkovou diagnostiku hlavních skupin strojů a vysoce přesné obrábění. [4] [2]

## **3.2 Rozdělení podle složitosti drah**

### **3.2.1 Systémy s přetržitým řízením**

Charakteristickým znakem pro systémy s přetržitým řízením je, že mezi pohyby jednotlivých os neexistuje funkční závislost.

#### Systémy stavění souřadnic (polohování)

Jeden z nejstarších systémů řízení, neprovádí lineární ani kruhovou interpolaci. Do požadované polohy najíždí nástroj nebo obrobek. Nástroj při pohybu neobrábí, k obrábění dochází až po dosažení stanovené polohy. Představitelem systémů stavění souřadnic jsou například vrtací stroje.

#### Systémy s pravouhlým řízením

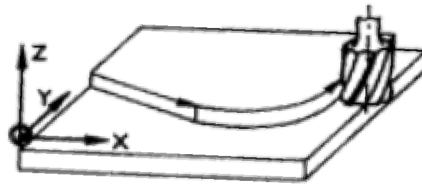
Při pohybu nástroje vůči obrobku dochází k obrábění, a to vždy jen v jedné souřadnicové ose. Těmito systémy lze soustružit osazené plochy a frézovat pravouhlé tvary. Používají se u soustruhů, frézek, obráběcích center a lisů.

### **3.2.2 Systémy se souvislým řízením**

Pohyb nástroje vůči obrobku je plynulý a současně jsou řízeny nejméně dvě souřadnicové osy. Funkční závislost mezi jednotlivými osami zpracovává interpolátor, který řídí dané osy. [2]

### Řízení 2D

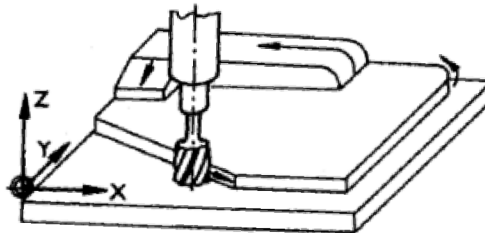
Řízení dvou os současně je nutné pro vytvoření kruhového pohybu. Využívá se také pro lineární pohyb v libovolném směru. U frézek probíhá interpolace nejčastěji v rovině X-Y. Názornou ukázkou 2D řízení lze vidět na Obr. 2. [2] [5]



Obr. 2) Příklad 2D souvislého řízení. [6]

### Řízení 2.5D

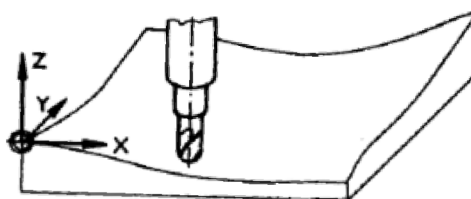
Dva a půl osé řízení umožňuje lineární nebo kruhové interpolace vždy v jedné volitelné rovině X-Y, Y-Z, X-Z. Příklad 2.5D řízení je na Obr. 3. [2]



Obr. 3) Příklad 2.5D souvislého řízení. [6]

### Řízení 3D

Nástroj se pohybuje ve třech osách současně. Jsou zde kladeny vyšší požadavky na výkon interpolátoru, který vypočítává souřadnice dvou os v závislosti na třetí ose (Obr. 4). [2]



Obr. 4) Příklad 3D souvislého řízení. [6]

## Řízení 4D a 5D

Na rozdíl od trojosého obrábění v osách X, Y, Z lze u 4D a 5D řízení rotovat také kolem těchto os. Slouží pro natočení nástroje k normále obráběné plochy. Tohoto řízení se využívá při obrábění složitých ploch jako jsou například lopatky turbíny. [2]

### 3.3 Pohonné jednotky CNC strojů

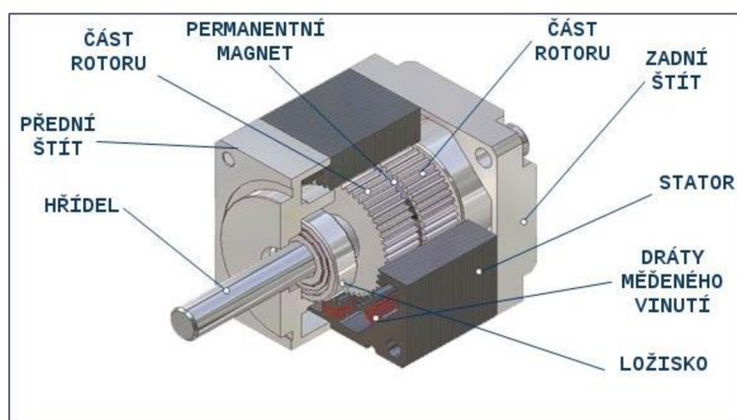
#### 3.3.1 Krokové motory

Krokový motor je impulzně napájený synchronní motor. Pomocí stejnosměrného proudu protékajícího pólovými dvojicemi umístěnými ve statoru motoru je generováno magnetické pole, které postupně přeskakuje z cívky na cívku a vyvolává rotační pohyb rotoru. Pólové dvojice rotoru a statoru jsou posunuty o úhel  $\alpha$ , který odpovídá posunutí rotoru při vyvolání magnetického pole z klidové polohy do nejbližší magnetické klidové polohy. Tato vzdálenost se nazývá krok a její velikost lze ovlivnit konstrukcí motoru a jeho řízením. Směr otáčení rotoru je určen pořadím přepínání vinutí. Pohyb krokového motoru je nespojitý. [7] [8]

Podle konstrukce lze rozdělit krokové motory na dvě skupiny, a to krokové motory s pasivním rotorem (reluktanční) a krokové motory s aktivním rotorem. V současnosti se v průmyslu pro polohovací operace využívá tzv. hybridních motorů, což je kombinace těchto dvou kategorií. [8]

#### 3.3.2 Hybridní konstrukce krokového motoru.

Konstrukční uspořádání těchto krokových motorů je na Obr. 5. Hřídel rotoru je z nemagnetického materiálu. Na hřídeli jsou nalisované plechy tvořící dva pólové nástavce. Axiálně polarizovaný magnet se nachází mezi těmito nástavci a je uložen tak, aby každý pólový nástavec měl jinou polaritu. Na obvodu rotorových nástavců jsou zuby jejichž počet určuje velikost kroku. Tyto nástavce jsou v osovém směru natočeny o polovinu rotorové zubové rozteče. Stator je tvořen 8 póly s dvoufázovým čtyřpólovým vinutím, který má na vnitřní straně také drážkování. Počet rotorových zubů se obvykle volí vyšší než počet zubů statoru. Fáze vinutí jsou buzeny v předepsaném pořadí, čímž vzniká točivé statorové magnetické pole. Toto pole je rotorem následováno tak, že se vždy nejbližší zuby rotoru nastaví do magnetické klidové polohy. [7]



Obr. 5) Konstrukční uspořádání krokového motoru s axiálně polarizovaným magnetem (hybridní konstrukce). [8]

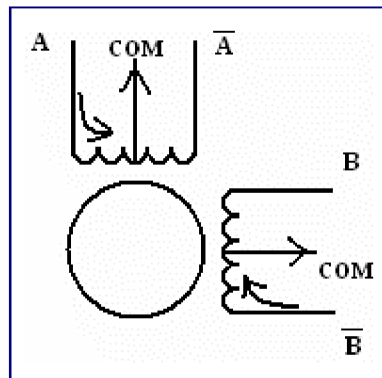
### 3.3.3 Způsoby zapojení krokových motorů

O řízení krokového motoru se stará driver neboli česky ovladač. Správná volba vhodného zapojení krokových motorů závisí na požadavcích jako jsou například rychlost otáčení a velikost kroutícího momentu. [8]

V praxi lze rozdělit řízení krokového motoru podle způsobu zapojení do dvou skupin na unipolární a bipolární zapojení.

#### Unipolární zapojení

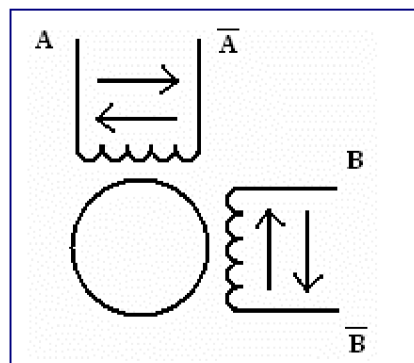
Unipolární krokové motory jsou připojeny k řídicí jednotce pomocí šesti kabelů (Obr. 6). Proud může téct cívkou pouze v jednom směru. Proud protéká pouze jedním směrem, což má za následek snížení provozního momentu cca o 40 % oproti bipolárnímu řízení. [9] [10]



Obr. 6) Unipolární zapojení krokového motoru. [10]

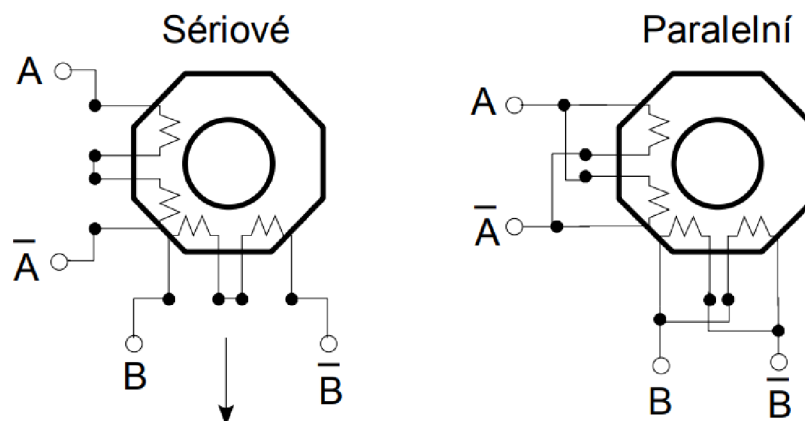
#### Bipolární zapojení

U bipolárního zapojení dochází k změně polaroty protékajícího proudu. Touto změnou měníme směr magnetického toku generovaného fázovým vinutím. Zapojení bipolárního řízení krokového motoru je na Obr. 7.

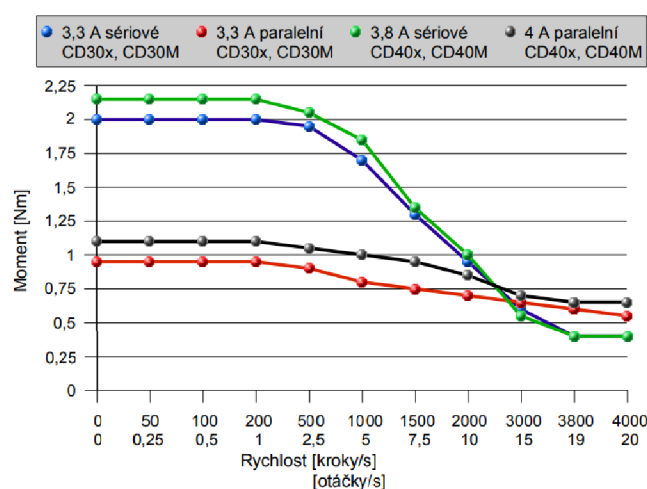


Obr. 7) Bipolární zapojení krokového motoru [10]

Bipolárně lze motory zapojit sériově nebo paralelně jak je znázorněno na Obr. 8. Nejčastěji se hybridní krokové motory zapojují sériově, kvůli většímu krouticímu momentu při tomto zapojení. Porovnání kroutícího momentu sériového a paralelního zapojení lze pozorovat na Obr. 9.



Obr. 8) Sériové a paralelní bipolární zapojení krokového motoru. [11]



Obr. 9) Momentová charakteristika krokového motoru SX23-2727 od firmy Microcon. [11]

### 3.3.4 Mikrokrokování

Počet kroků krokového motoru je dán jeho konstrukcí. Lze jej ovlivnit počtem rotorových zubů nebo počtem fází. Zvýšit počet kroků lze také mikrokrokováním. Při metodě plných kroků jsou cívky buzeny stejným proudem. Při mikrokrokování jsou tyto proudy v cívkách záměrně odlišné. Vhodnou kombinací vzájemných velikostí proudů lze dosáhnout rovnovážné polohy mikrokroku mezi dvěma základními kroky. [7] [8]

Mikrokrokování se používá zejména ke zvýšení rozlišovací schopnosti krokového motoru a snížení mechanických rázů při změně polohy. Mikrokrokování má také pozitivní vliv na velikost vznikajících rezonancí. [7] [8]

## 3.4 Servopohony

K polohování jednotlivých os obráběcího stroje se v průmyslu nejvíce využívá synchronní servomotor buzený permanentními magnety na rotoru, který je na Obr. 10. [12]

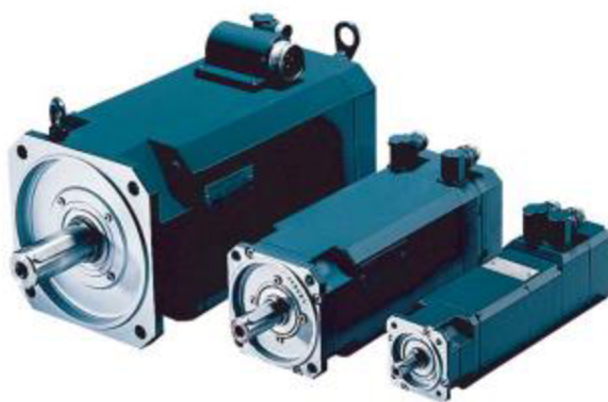
Tento pohon je řízen vektorově pomocí měniče kmitočtů. Pro řízení měniče kmitočtů je nezbytná trvalá informace o poloze rotoru vůči poloze magnetického pole statoru. K zjištění

polohové informace se používá snímač polohy. Ve většině případu se jedná o inkrementální enkodér, ale jsou zde i možnosti použití absolutního enkodéru nebo resolveru. [12]

Mezi další komponenty uvnitř pohonu patří brzda, která zajišťuje definovanou polohu při nenapájeném stavu servomotoru. Ta v případě havárie nebo výpadku napájení má za úkol aretovat motor ve stále pozici, aby nedošlo k poškození stroje či zranění. [12]

Mezi výhody servomotorů patří [13]:

- Vysoká dynamika
- Odolnost vůči vnějším silám (statická a dynamická tuhost)
- Malá ustálená odchylka
- Přesnost řízení polohy
- Plynulý chod
- Možnost přetěžování motoru



Obr. 10) Příklad synchronních servomotorů řady 1FT6 od firmy Siemens. [14]

### 3.5 Odměrování

K odměrování se používají snímače polohy, které se významně podílejí na přesnosti polohování.

Podle druhu získané informace lze odměrování rozdělit na inkrementální a absolutní.

#### Inkrementální

Inkrementální odměrování neboli také přírůstkové odměrování počítá s tzv. inkrementem. Inkrement je nejmenší rozlišitelná délková míra. Systém dostává informaci ve formě pulsů. Tyto pulsy reprezentují inkrementální posunutí posuvové soustavy. K určení aktuální polohy se využívá sčítání nebo odčítání těchto pulsů od předem stanovené referenční polohy. Proto je nutné po zapnutí stroje jednotlivé osy zreferovat, aby poskytovali údaje o aktuální poloze. [4]

#### Absolutní

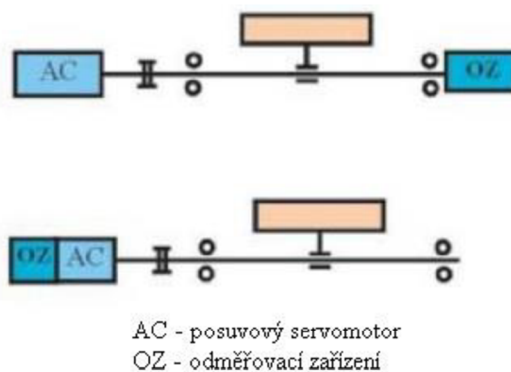
Na rozdíl od inkrementálního absolutní odměrování udává systému svou polohu hned po zapnutí. Výhoda při použití absolutního odměrování je zkrácení času příprav po zapnutí stroje odstraněním nutnosti referování os. [4]



Dále podle umístění odměřovacího zařízení lze odměřování rozdělit na přímé a nepřímé.

### Nepřímé

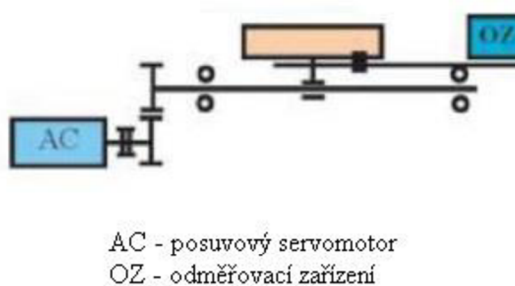
U nepřímého odměřování (Obr. 11) je snímač umístěn na konec kuličkového šroubu nebo může být také součástí motoru. V obou případech odměřuje úhel natočení rotační části (hřídele rotoru nebo kuličkového šroubu). Nevýhodou je nepřesnost způsobená teplotními dilatacemi a také nepřesnostmi vložených převodů. Výhodou je jednoduchost konstrukce zejména při variantě vestavěného snímače přímo v servomotoru. [4]



Obr. 11) Nepřímé odměřování [4]

### Přímé

Přímé odměřování (Obr. 12) odstraňuje nedostatky nepřímého. To znamená, že zvyšuje přesnost odměřování. Odměřovací zařízení je umístěno na pohybujiících se částech co nejbližže pohybujiícímu se nástroji, aby se vyloučil vliv teplotní dilatace konstrukce. Nevýhoda spočívá v složitosti konstrukce, což se projeví na vyšší ceně. [15]



Obr. 12) Přímé odměřování [4]

Podle druhu odměřovacího signálu lze odměřování rozdělit na fotoelektrické, indukční, magnetické a laserové. Dále budou popsán pouze odměřování fotoelektrické, z důvodu použití tohoto způsobu odměřování v této práci. [4]

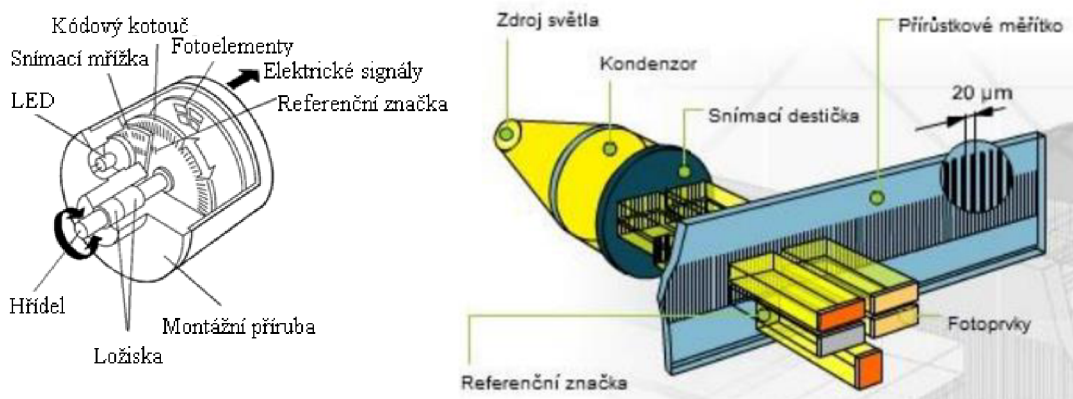
### Fotoelektrické

Fotoelektrické odměřování pracuje pomocí stínění světelného toku mezi zdrojem světla a fotočládky. Stínění může být realizováno pomocí pravítka nebo kotouče. Ve variantě s pravítkem (Obr. 13 vpravo) se mezi zdrojem světla a fotočládkem se nachází kondenzor, snímací maska a zmíněné skleněné pravítko. Kondenzor a snímací maska zajišťují správné přivedení světla ke skleněnému pravítku. Skleněné pravítko je pravidelně rozděleno na úseky světlu propustné a nepropustné. Obsahuje také referenční značku, která slouží k vynulování

čítače při najetí do referenční polohy. Při pohybu snímací hlavy vůči pravítku zaznamenávají fotočlánky změny světla a vytvářejí výstup, kterými jsou dva sinusové elektrické signály vzájemně posunuté o 90°. [16] [17]

Fotoelektrické odměřování může být provedeno také ve variantě, kdy je pravítko vyrobeno z netransparentního materiálu (například ocel) a stupnice je z vysoce reflexního materiálu (zlato). Světlo se tedy od reflexního materiálu odráží a transparentní materiál je upraven tak, aby co nejlépe světlo absorboval. [4] [16]

Zařízení, kde je stínění realizované kotoučem se nazývá enkodér (Obr. 13 vlevo). Enkodéry jsou oproti pravítkovému odměřování kompaktnější a díky zapouzdření nejsou tolik citlivé na nepříznivé okolní podmínky. V mnoha případech jsou přímo součástí akčních členů jako jsou například krokové motory se zpětnou vazbou nebo servopohony. [17]



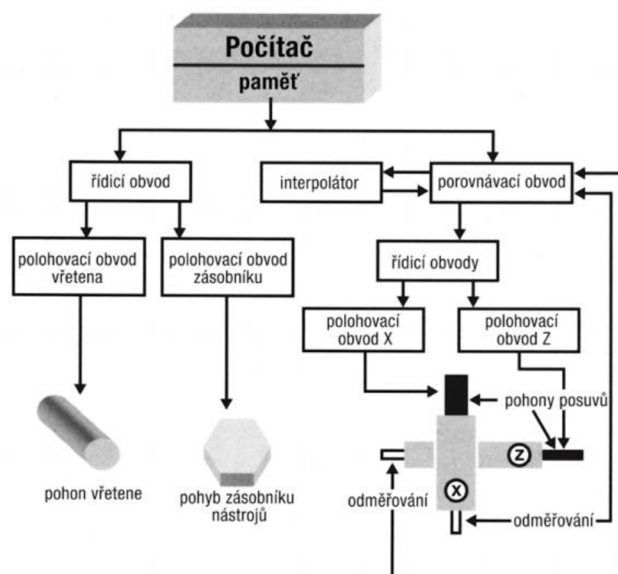
Obr. 13) Inkrementální rotační enkodér (vlevo) [17], fotoelektrického měření polohy pomocí pravítka (vpravo). [18]

### 3.6 Funkce řízení obráběcího stroje

V této kapitole jsou popsány základní informace o CNC řízení obráběcích strojů, jejich korekcích a souřadnicových systémech.

#### 3.6.1 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení

Schéma CNC obráběcího stroje je na Obr. 14.



Obr. 14) Blokové schéma CNC obráběcího stroje zjednodušené (na příkladu soustruhu) převzato [19]

### Počítač

Průmyslový počítač obsahuje řídicí systém obráběcího stroje. Jeho součástí je také ovládací panel, který se využívá k ovládání stroje obsluhou, tvorby CNC programu a sledování hodnot stroje jako je rychlost či zatížení vřetene. [19]

### Řídící obvody

Slouží k převodu logických signálů na silnoproudé elektrické signály, kterými se následně ovládají přímo jednotlivé části stroje jako jsou například motory vřetene a posuvů. [19]

### Interpolátor

Interpolátor řeší dráhu nástroje a zahrnuje zadané délkové korekce. Vypočítává tedy dráhu ze startovacího bodu do cílového bodu. Dráha tohoto pohybu může být lineární (přímková), rádiusová (kruhová) nebo spline (obecná). [19]

### Porovnávací obvod

Porovnávací obvod představuje zpětnou vazbu, která přenáší informaci o dosažených geometrických souřadnicích. Tyto souřadnice se porovnávají se zadanými souřadnicemi. Pokud nastane rozdíl mezi souřadnicemi zadanými a souřadnicemi ze zpětné vazby, dojde k povelu eliminovat tento rozdíl. [19]

## 3.6.2 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Na panelu ovládání CNC obráběcího stroje lze obvykle nastavit tyto základní režimy:

### Manuál (ruční provoz)

Používá se zejména k přenastavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy za účelem ručního obrábění, zjištění korekce nástrojů na stroji, najíždění k obrobku či manuální výměně nástroje v zásobníku. [19]

### Auto (automatický)

Kontinuální proces obrábění, při kterém stroj po zpracování předchozí instrukce pokračuje následující instrukcí. [19]

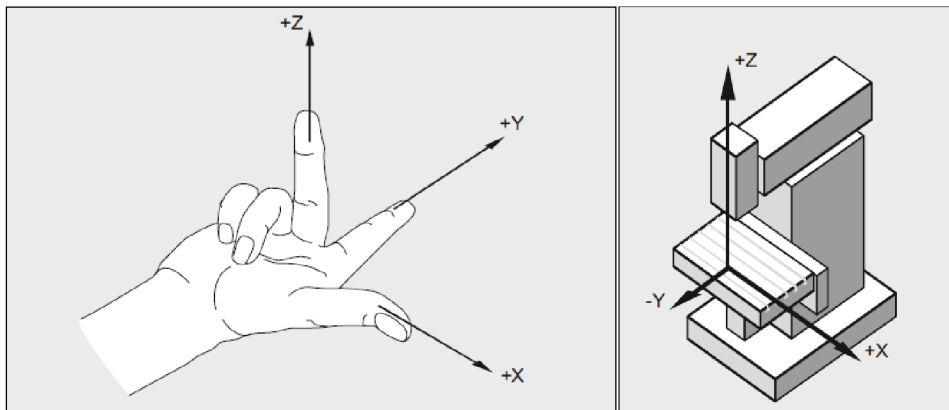
### B-B (blok po bloku)

Stroj po zpracování jednoho bloku čeká na opětovné zmáčknutí tlačítka startu a až poté zpracovává další blok. Tento režim slouží zejména ke kontrole CNC programu. [19]

## 3.6.3 Souřadnicové systémy

### Souřadnicový systém stroje (MCS)

Skládá se ze všech souřadných os, které na stroji fyzicky existují. Pomocí „pravidla pravé ruky“ jsou určeny směry jednotlivých os. Toto pravidlo vychází z normy DIN 66217. Názorné určení směru os pomocí „pravidla pravé ruky“ je na Obr. 15. Prostředníček ukazuje vždy směrem do vřetena a určuje kladný směr osy Z. Palec směřuje kladným směrem osy X a ukazováček směřuje kladným směrem osy Y. [20]



Obr. 15) Určení směru souřadnicového systému stroje pomocí pravidla pravé ruky [20].

### Základní souřadnicový systém (BCS)

BCS se kromě tří základních os skládá i z doplňkových os, které mezi sebou nemají žádný geometrický vztah. Pokud lze souřadný systém BCS matematicky zobrazovat na MCS bez kinematických transformací (například pětiosá transformace), jsou tyto dva souřadnicové systémy identické. [20]

### Základní souřadnicový systém počátku (nuly) (BNS)

Pokud spojíme základní souřadnicový systém se základním posunutím, vznikne základní souřadnicový systém nuly. Pomocí tohoto souřadnicového systému můžeme definovat například nulový bod palety. [20]

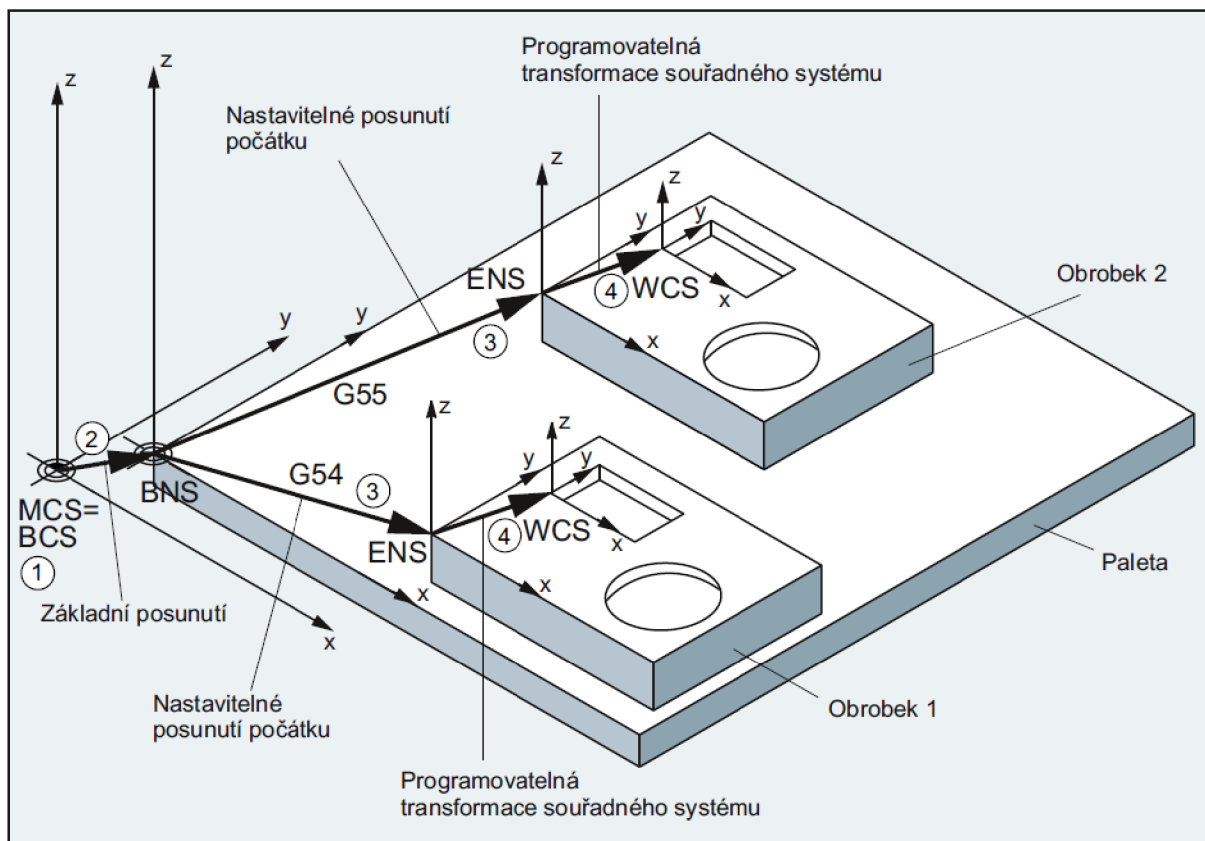
### Nastavitelný souřadnicový systém (ENS)

Jedná se o posunutý BNS. Jestliže není aktivní žádná transformace odpovídá nastavitelný souřadný systém (ENS) souřadnému systému obrobku (WCS). [20]

### Souřadnicový systém obrobku (WCS)

Souřadný systém obrobku je spojen vždy s jedním určitým obrobkem. WCS je vždy kartézský a popisuje geometrii obrobku. Instrukce v NC-programu jsou vztaženy k souřadnému systému obrobku. [20]

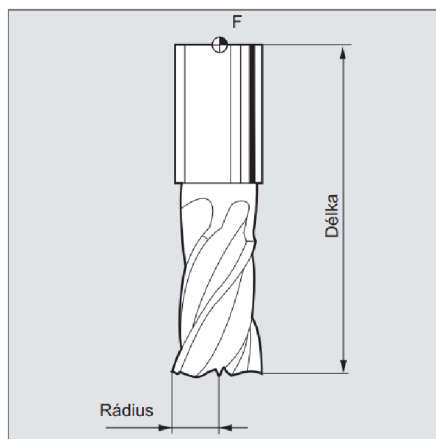
Souvislosti všech souřadnicových systémů mezi sebou lze vidět na Obr. 16.



Obr. 16) Souvislosti mezi souřadnými systémy. [20]

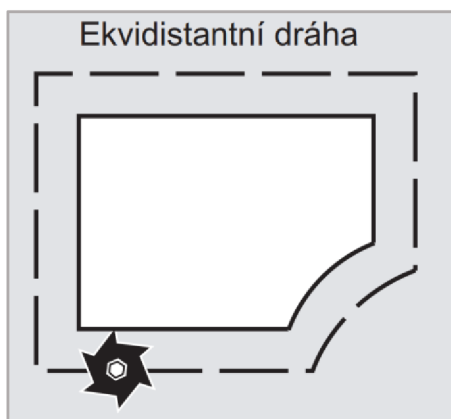
### 3.6.4 Korekční parametry nástroje

Korekční parametry nástroje jsou informace o nástroji. Například u frézy (Obr. 17) její průměr, délka nástroje případně parametr opotřebení nástroje. Určení těchto korekcí lze docílit pomocí změření speciální sondou, což se dá udělat jak na stroji, tak mimo stroj na speciálním pracovišti. Změřit základní rozměry jako jsou délka či rádius lze i za pomoci posuvného měřítka. [20]



Obr. 17) Parametry frézy [20]

Při sestavování NC programu jsou přímo zadávány požadované rozměry obrobku. Aby byl systém schopen vypočítat dráhu nástroje k vytvoření požadované kontury, musí být parametry použitého nástroje uloženy v paměti řídicího systému. Tímto způsobem je vypočtena ekvidistanční dráha nástroje vedle kontury (Obr. 18). [20]



Obr. 18) Znáznornění ekvidistanční dráhy od kontury [20]

### 3.6.5 Interpolace a inkrement

Interpolátor zpracovává pohybové instrukce. Vypočítává pohyb nástroje mezi dvěma body podle typu interpolace. Pracuje s tzv. přírůstkem neboli inkrementem, což je nejmenší programovatelná (měřitelná) dráha. Motory dostávají opakované pulsy, kterými se posunují o zmiňovaný inkrement do doby, než se nacházejí v požadované poloze. [20] [19]

Rozlišujeme dvě základní interpolace:
















- **Lineární interpolace** – Pohyb z bodu A do bodu B je realizován po přímce pomocí funkce G01 pro pracovní posuv a G00 pro rychloposuv. Mezihodnoty vzniklé posunutí motoru o daný inkrement leží na této přímce. [20] [19]

- **Kruhová interpolace** – Pohyb z bodu A do bodu B je realizován po kruhovém oblouku. Při kruhové interpolaci se lze dostat do koncového bodu 2 směry, a to ve směru hodinových ručiček vpravo pomocí funkce G02, nebo vlevo pomocí funkce G03. Mezihodnoty vzniklé posunutím o daný inkrementu leží na kruhovém oblouku. [20] [19]

### 3.6.6 Piktogramy při obsluze CNC stroje

Pro obsluhu CNC stroje je potřeba znát piktogramy zobrazení na ovládacím panelu stroje. Tyto piktogramy se můžou objevit i ve výkrese. Jedná se zejména o počátky souřadnicového systému a vztažné body nebo také načtení programu do paměti, označení vřetena, posuvu nebo jednotlivé piktogramy pro zvolení pracovního režimu. [19]

Piktogramy na řídicích panelech různých výrobců bývají dosti rozdílné, přitom plní stejnou funkci. Je to způsobeno tím, že tyto piktogramy nejsou normalizované. Příklad piktogramů lze vidět na Obr. 19. [19]

Piktogram	Stručný komentář	Piktogram	Stručný komentář
	M - Nulový bod stroje - z tohoto bodu se posouvá souřadnicová soustava do určeného bodu, ve kterém je umístěn nulový bod obrobku.		Načtení programu. (do paměti).
	W - Nulový bod obrobku - určíme na výkrese (modelu) před tvorbou programu, ztotožníme na upnutém polotovaru.		Načtení po jednotlivých blocích.
	R - Referenční bod - tímto tlačítkem je dán pokyn k odjezí do tohoto bodu. R bod již není u strojů s absolutním měřením polohy.		Alter; Změnit; Zaměnit.
	C- Bod výměny nástroje - je určen programátorem.		Cancel; Zrušit; Storno.
	F - Bod, do kterého se umísťuje držák s nástrojem. Od tohoto bodu se měří délkové korekce nástroje.		Delete; Vymazat; Odstranit.
	A - Dorazový bod - značí, kde je umístěn doraz pro upínání polotovaru. Dorazy se používají při sériové výrobě. Bývají na čelní ploše upínače polotovaru, ve vřetenu (soustruhy), na stole frézky, na čelisti svěráku (frézky). Jsou i další možnosti.		Insert; Vložit; Připojit.
			Program. Otevření programu.
			Reset; Vsadit; Obnovit.
			Shift; Změna; Posunutí.

Obr. 19) Výběr piktogramů používaných při ovládání a programování CNC strojů. [19]

### 3.6.7 Zjišťování nulového bodu obrobku

Jak již bylo řečeno nulový bod obrobku je bod, ke kterému se vztahují pohybové příkazy v NC programu (pokud není aktivní přírůstkové polohování). Nulový bod volí programátor v CNC kódu. K posunutí souřadnicového systému obrobku do požadovaných souřadnic se používá funkce G54 až G59. Toto posunutí nastavuje obsluha CNC stroje. [20]

Pro zjištění potřebných souřadnic obrobku k nalezení nulového bude použita následující metoda:

#### Naškrábnutí obrobku nástrojem

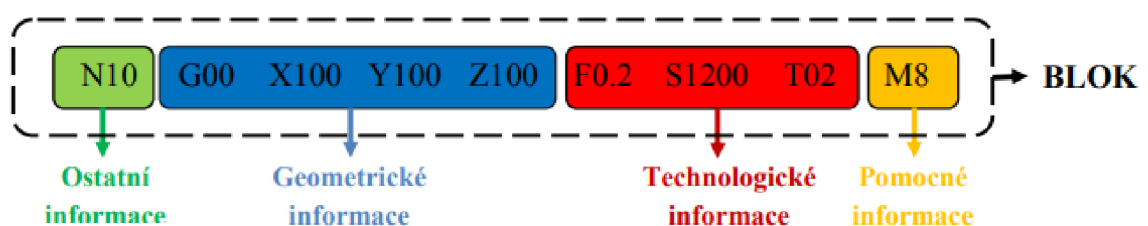
Jeden ze způsobů, jak zjistit polohu nulového bodu obrobku je i pomocí naškrábnutí (lehkým dotykem) nástroje obrobku. Při tomto způsobu je důležité mít seřizený nástroj a počítat

s jeho parametry jako je délka nástroje a jeho průměr. Tato metoda je nejjednodušší a rozhodně i nejlevnější, jelikož k zjištění polohy nulového bodu není potřeba speciální sonda. [21]

### 3.6.8 Programování NC kódu

NC kód je soubor geometrických, technologických a pomocných instrukcí k řízení CNC stroje. Strukturu a pravidla tvorby NC programu popisuje ISO norma DIN 66025. NC program se skládá z jednotlivých bloků (řádků). Bloky jsou tvořeny instrukcemi. Tyto instrukce jsou složeny z adresy a hodnoty. Hodnota může obsahovat znaménka plus nebo minus, může obsahovat taky desetinou čárku. Celý program je ukončen posledním blokem obsahující funkci M30. [20]

V bloku není přesně dané pořadí instrukcí, avšak je zde snaha dodržovat určitou strukturu bloků z důvodů čitelnosti. Tato struktura je znázorněna na Obr. 20. [22] [19]



Obr. 20) Struktura bloku programu. [21]

Jak lze vidět na Obr. 20 jednotlivé instrukce lze v programu rozdělit do následujících kategorií:

- **Ostatní** – To jsou informace důležité zejména pro orientaci v programu (čísla bloků, poznámky) [21]
- **Geometrické** – Používají se k popisu dráhy nástroje. Skládají se ze způsobu pohybu (G00 až G03) a souřadnice koncového bodu, v případě kruhového interpolace je tato informace doplněna o rádius. [21]
- **Technologické** – Vztahují se k technologii obrábění a k rezným podmínkám. Tato kategorie zahrnuje informace o nástroji (funkce T), posuvové rychlosti (funkce F), velikosti otáček za minutu či rezné rychlosti (funkce S). [21]
- **Pomocné** – Adresa těchto instrukcí je písmeno M. Pomocné informace ovládají funkce potřebné k výrobě obrobku. Příkladem těchto instrukcí je zapnutí chladicí kapaliny, zvolení směru otáčení vřetena, ukončení celého programu a další. [21]

## 3.7 Řídicí systémy CNC obráběcích strojů

Na dnešním trhu existuje spousta firem nabízející řídicí systém pro obráběcí stroje. Existují firmy nabízející řídicí systémy pouze formou softwaru, avšak lídři v tomto oboru dodávají své systémy jako kompaktní řešení i s hardwarem.

### 3.7.1 Siemens Sinumerik

V roce 1960 uvedl Siemens na trh systém pro číslicové řízení obráběcích strojů, který v roce 1964 dostal název Sinumerik. V současnosti nabízí tato společnost několik výkonnostních řad systému Sinumerik. Portfolio řídicích systému začíná řadou Sinumerik 808 určenou pro



základní frézování a soustružení. Poté následuje Sinumerik 828 (Obr. 21) určená pro standartní stroje. Nejvyšší řadou je Sinumerik 840 určený zejména pro stroje s mechanicky konfigurovatelnými částmi, které mohou být přizpůsobeny potřebám konečných uživatelů. [23]

#### Parametry Sinumerik 828D:



- 10,4" barevný display
- Plná QWERTY klávesnice
- Podpora USB, CF karty, Ethernet
- Shop Mill/Shop Turn programování
- Grafická simulace obrábění
- Interpreter NC kódu podle normy ISO
- Až 10 řízených os/vřeten a 2 pomocné

Obr. 21) Řídící panel Sinumerik 828D [24] [23]

#### 3.7.2 Fanuc

Také původně japonská firma Fanuc nabízí několik řad rozdělených podle výkonosti. Základní řešení je série 0i-F (Obr. 22), kterou lze modifikovat pomocí řady dalších volitelných funkcí. Je výhodná zejména v poměru cena/výkon a samozřejmě spolehlivostí. Produktová řada 30i/31i/32i představuje řešení pro vysoce variabilní stroje s požadavky na vysokou přesnost a rychlost obrábění. [25]

#### Parametry Fanuc CNC series 0i-F:



- až 12 řízených os, 6vřeten a 2 kanály
- 4-osé simultánní obrábění
- dílenské programování pomocí Manual Guide nebo TURN MATE
- funkce look-ahead až 400 bloků

Obr. 22) Ovládací panel Fanuc 0i [26]

#### 3.7.3 Heidenhain

Jedná se o německou společnost zabývající se mimo jiné i CNC řízením strojů. Jinak je tato společnost známá především výrobou snímačů pro přesné odměřování polohy. Také Heidenhain má své portfolio rozděleno do kategorií podle výkonosti CNC řízení. Základní řešení představuje TNC 128, který je vhodný pro univerzální frézovací, vrtací a vyvrtávací stroje, disponuje však pouze pravoúhlým řízením. Další kategorií je souvislé řízení TNC 320 a TNC 620 až pro 5 os. Pružná koncepce dovoluje možnost dílenského programování v dialogu Heidenhain přímo na stroji. Poslední a taktéž jediná univerzální (frézovací nebo obráběcí) varianta je TNC 640, která je na Obr. 23. Dokáže řídit až 24 os. Jedná se o nejvyšší řadu od této

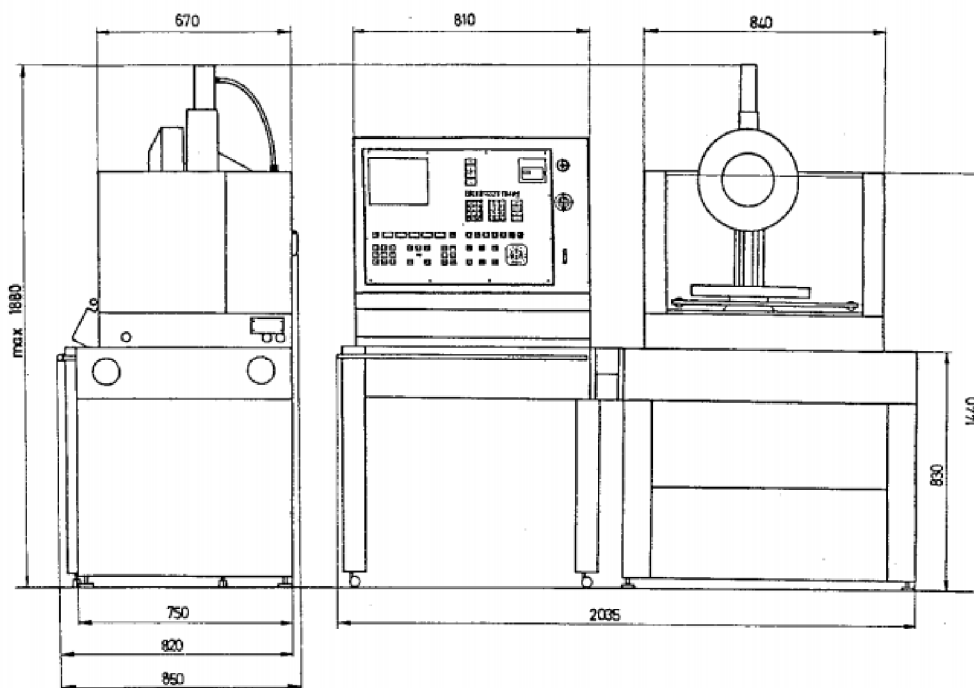
firmy s podporou funkcí jako je například vysokorychlostní obrábění, smartSelect (rychlý výběr funkcí při programování) či pětiosé obrábění na velmi velkých strojích. [27]



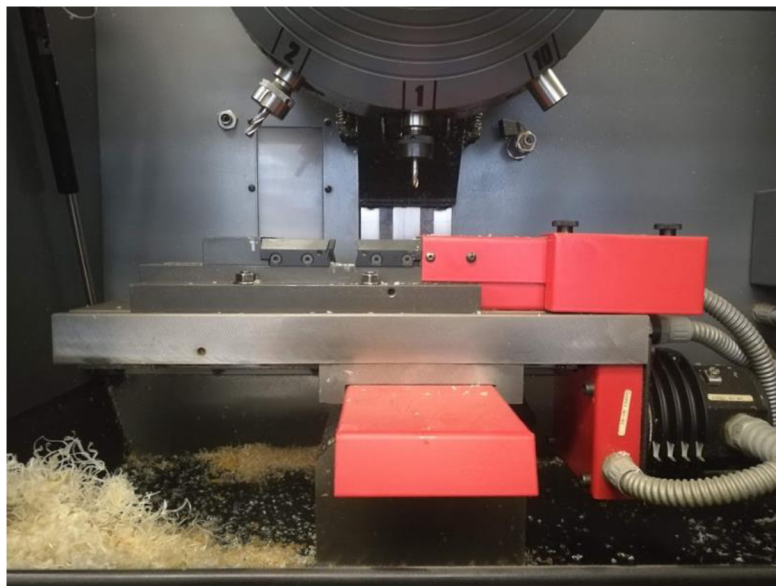
Obr. 23) Řídicí panel TNC 640 [28]

## 4 ANALÝZA VÝCHOZÍHO STAVU FRÉZKY VMC 100

Jedná se o CNC vertikální stolovou frézku s automatickou výměnou nástrojů. Výměna nástrojů probíhá pomocí karuselového výměníku s kapacitou deseti nástrojů. Osy frézky se pohybují po kluzném rybinovém vedení. Součástí frézky je chlazení chladicí kapalinou, automatický systém mazání kluzkého vedení a přípojka pro připojení zdroje stlačeného vzduchu. Na Obr. 24 lze vidět rozměrový výkres stroje. Na Obr. 25 je pak fotografie stroje umístěného na fakultě.



Obr. 24) Celkové rozměry frézky Emco VMC 100. [29]



Obr. 25) Fotografie frézky Emco VMC 100 detail.

#### 4.1 Vřeteno

Vřeteno frézky je realizováno prostřednictvím kartáčového DC motoru s odměřováním pomocí enkodéru s rozlišením 500 pulsů/ot. Maximální otáčky vřetena jsou 4000 ot/min a maximální kroutící moment dosahuje hodnoty 8,4 Nm. Pohon vřetena se také využívá pro otáčení zásobníku při výměně nástrojů. [29]

#### 4.2 Pohony os

Frézka je osazena třemi krokovými motory s primitivní zpětnou vazbou realizovanou indukčními senzory, které detekují jednu otáčku kuličkového šroubu. Kuličkový šroub je s motorem spojen pomocí ozubených kol a řemenu. Převodový poměr tohoto spojení je roven dvěma, jedná se tedy o převod do pomala. Stoupání kuličkového šroubu je 5 mm/ot. [29]

#### 4.3 Stůl

Stůl frézky o rozměrech 425x125 obsahuje dvě T drážky. V tomto konkrétním případě je stůl vybaven také elektricky ovládaným upínačem obrobků, který z důvodu omezení už tak malého pracovního prostoru bude odstraněn. [29]

#### 4.4 Výměna nástrojů

Pro správnou funkci se využívá celkem 4 indukčních snímačů.

- **Snímač 1** – Slouží k referování pozic zásobníku. Snímaný plíšek je umístěn tak, že při jeho detekci je pozice číslo 1 připravena k upnutí do vřetene.
- **Snímač 2** – Tento snímač slouží k určení přesné pozice otočení zásobníku na požadovaný nástroj. Dohlíží tedy na to, aby nedošlo k upnutí nástroje při nepřesné pozici zásobníků, což by mohlo způsobit kolizi.
- **Snímač 3** – Detekuje správné upnutí nástroje ve vřetenu.

Samotný proces po vyvolání programu výměny nástroje probíhá takto. Vřeteno je osou v kladném směru osy Z posunuto nahoru. Při posunu dochází k uvolnění aktuálně upevněného nástroje z vřetena. Nástroj zůstává v zásobníku a vřeteno pokračuje v pohybu dál dokud pozice umožňující otáčení zásobníkem. Pokud je zásobník zreferován, dochází k pootočení zásobníku k požadovanému nástroji. Jednotlivé pozice určuje snímač 2 sčítáním pulzů od čísla nástroje upnutého před samotnou výměnou. Pokud však zásobník zreferován není, zásobníkem je otáčeno tak dlouho dokud snímač 1 zaznamená referenční polohu, která odpovídá pozici číslo jedna. Poté provede natočení zásobníku do požadované polohy definované výběrem nástroje. K zajištění přesné polohy slouží snímač 3. Po dosažení této polohy sjíždí vřeteno v záporném směru osy Z, aby došlo k uchycení nástroje. Při tomto pohybu je aktivován ofuk k odstranění možných nečistot z kuželu upínače. Jakmile je nástroj upnut ve vřetenu, snímač 3 potvrdí správné upnutí. [29]

## 4.5 Řídící systém

O řízení frézky se stará řídicí systém Emcotronic TM02. Tento systém zvládá provádět lineární a kruhové interpolace vždy v jedné vybrané rovině. Jedná se tedy o tzv. řízení 2,5 D.

Frézka využívá k NC řízení strukturu programu podle normy DIN 66025. Program lze do frézky vložit pomocí RS 232 C rozhraní nebo pomocí kazet (Philips MDCR). Nahraný program lze přímo ve stroji upravovat.

Při manuálním ovládání pohonů frézky je v programu naprogramována tzv. varovná zóna. Tato zóna se nachází 10 mm od stolu frézky. Při dosažení této vzdálenosti se automaticky aktivuje tzv. slow safety feed. Dojde k zmenšení rychlosti posuvu. [29]

## 4.6 Lubrikace vedení

Mazání kluzného vedení olejem probíhá po ujetí 10 metrů. Lubrikační pumpa je po ujetí této vzdálenosti sepnuta na 5 sekund. [29]

## 4.7 Krytování

Krytování stroje je realizováno pomocí plechového krytu, kterým je stroj opláštěn ze zadní a z bočních stran. Z předu je krytování realizováno průhlednými otvíracími dvířky, které se otvírají směrem vzhůru. Pracovní prostor frézky není zakrytován z vrchní strany. [29]

Základní parametry frézky jsou shrnuty v Tab. 1.

Tab. 1) Základní parametry frézky VMC 100 [29]

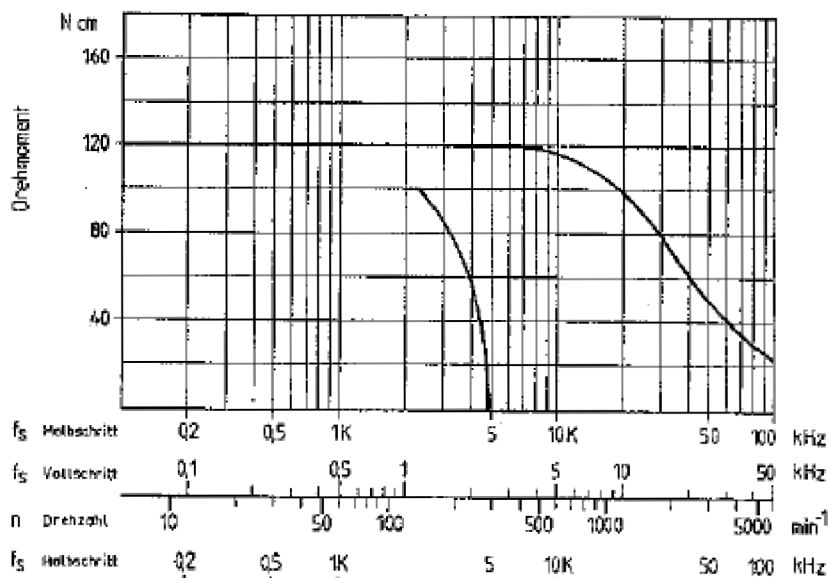
<b>Osy</b>	
Rozsah posuvu - Osa X [mm]	185
Rozsah posuvu - Osa Y [mm]	95
Rozsah posuvu - Osa Z [mm]	200
Použitelný rozsah posuvu Z pro obrábění [mm]	100
<b>Stůl</b>	
Šířka stolu [mm]	425
Délka stolu [mm]	125

Maximální zatížení stolu [kg]	10
T drážky [mm]	2·11
Rozteč T drážek [mm]	90
<b>Vřeteno</b>	
Výkon (100/60% ED) [W]	600/800
Otáčky [ot/min]	10-4000
Krouticí moment [Nm]	8,4
<b>Posuv</b>	
Posuv [mm/min]	1-2000
Rychloposuv [mm/min]	3000
Maximální posuvová síla (feed force) [N]	1800

#### 4.8 Krokové motory

Na frézce jsou nainstalované krokové motory od firmy Berger Lahr s označením 596/50. Tyto motory mají 5 fází a velikost kroku  $0,72^\circ$ . Proudové zatížení je 2,7 A a odpor vinutí  $0,43 \Omega$ . Tyto motory jsou schopny dosahovat maximálního krouticího momentu o velikost 1,2 Nm. Na kuličkové šrouby jsou napojeny pomocí převodu. Velikost převodového poměru je rovna 2. Pro hodnoty rychloposuvu (3000 mm/min) odpovídá tedy rychlost motoru 1200 ot/min. [29]

Na Obr. 26 lze vidět průběh krouticího momentu podobného motoru, jelikož průběh krouticího momentu instalovaného krokové motoru s napětím 50 V se nepodařilo dohledat. Motory se od sebe liší pouze v hodnotě jmenovitého napětí. Lze předpokládat, že charakteristika krouticího momentu instalovaného motoru pracujícího s jmenovitým napětím 50 V bude podobná, avšak k poklesu krouticího momentu dojde v nižších otáčkách než u motoru s nominálním napětím 70 V.



Obr. 26) Průběh krouticího momentu v závislosti na otáčkách motor RDM 596 2,7 A 70 V. [30]

#### 4.8.1 Výpočet kroutícího momentu

Pro zvolení nového motoru je potřeba provést výpočet potřebného kroutícího momentu. Hodnoty potřebné pro výpočet jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2) Hodnoty pro výpočet potřebného kroutícího momentu.

Maximální hmotnost přesouvaná osou X $m_x$ [kg]	24
Maximální posuvová rychlost $v_p$ [ $ms^{-1}$ ]	0,04
Doba rozběhu na maximální rychlost $t_p$ [s] (zvolena)	0,3
Maximální síla působící na osu při největší zátěži $F_A$ [N] [29]	1800
Účinnost kluzného vedení $\eta_k$ [4]	0,8
Účinnost kuličkového šroubu $\eta_s$ [4]	0,92
Účinnost převodu $\eta_p$ [4]	0,95
Převodový poměr $i$ [29]	2
Účinnost ložisek uložení kuličkového šroubu $\eta_L$ [4]	0,92
Moment setrvačnosti kuličkového šroubu $J_{K\check{s}}$ [ $kg \cdot m^2$ ]	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Moment setrvačnosti rotoru $J_{mot}$ [ $kg \cdot m^2$ ]	$1,48 \cdot 10^{-5}$
Moment setrvačnosti převodového kola na motoru $J_{p\check{r}1}$ [ $kg \cdot m^2$ ]	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Moment setrvačnosti převodového kola na kuličkovém šroubu $J_{p\check{r}2}$ [ $kg \cdot m^2$ ]	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Součinitel tření ve valivém vedení osy $f_1$	0,08
Ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukováný na poloměr šroubu $f_2$	0,003
Stoupání kuličkového šroubu $s$ [m]	0,005
Jmenovitý průměr šroubu $d_s$ [m]	0,016

Maximální hmotnost přesouvaná osou X byla stanovena odhadem hmotnosti stolu plus maximální hmotnost obrobku, které je v manuálu stanovena na 10 kg [29].

Maximální posuvová rychlost vychází z momentové charakteristiky krokového motoru. Maximální udávaná rychlost otáčení kroutícího motoru je zde uvedena hodnota 1000 ot/min.

$$v_{MAX} = \frac{\omega_{MAX} \cdot s}{60} = \frac{1000 \cdot 0,005}{60} = 0,083 \text{ } ms^{-1} \quad (1)$$

$$v_p = \frac{v_{MAX}}{i} = \frac{0,083}{2} = 0,0415 \text{ } ms^{-1} \quad (2)$$

Pro přehlednost je hodnota maximální rychlosti zaokrouhlena na  $v_p = 0,04 \text{ } ms^{-1}$ .

Maximální síla  $F_A$  působící na osu při největším zatížení je převzata z manuálu. Jelikož je tato síla maximální nedoporučuje se nastavovat podmínky pro stálou zátěž touto silou.

Účinnosti a součinitele tření, spolu s rovnicemi níže jsou převzaty z literatury Konstrukce CNC obráběcích strojů III. [4]

Momenty setrvačnosti byly vypočteny pomocí externího softwaru Rexroth Indra Size.

### Statické hledisko

Celková účinnost posuvové soustavy.

$$\eta_c = \eta_k \cdot \eta_s \cdot \eta_L \cdot \eta_p = 0,8 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,95 = 0,643 \quad (3)$$

Potřebný moment z hlediska statiky.

$$M_m = \frac{F_A \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c} = \frac{1800 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,643} = 1,113 Nm \quad (4)$$

V tomto výpočtu se zanedbává statický moment zátěže redukovaný na hřídeli motoru  $M_{zshrm}$ .

### Kinematické hledisko

Lineární zrychlení posuvové soustavy.

$$a = \frac{v_p}{t_p} = \frac{0,04}{0,3} = 0,133 m \cdot s^{-2} \quad (5)$$

Velikost dráhy, na které bude dosaženo maximální posuvové rychlosti.

$$s_a = \frac{v_p^2}{2 \cdot a} = \frac{0,04^2}{2 \cdot 0,133} = 6 mm \quad (6)$$

Úhlové zrychlení hřídele motoru.

$$\varepsilon_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{s} \cdot i = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,133}{0,005} \cdot 2 \doteq 335 rad \cdot s^{-2} \quad (7)$$

### Dynamické hledisko

Redukovaný moment setrvačnosti posuvných hmot.

$$J_m = m_x \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 24 \cdot \left(\frac{0,005}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 1,52 \cdot 10^{-5} kg \cdot m^2 \quad (8)$$

Celkový moment setrvačnosti soustavy redukovaný na hřídel motoru.

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_{př1} + \frac{J_m}{i^2} + \frac{J_{př2}}{i^2} + \frac{J_{Kš}}{i^2}$$

$$J_{rhm} = 1,48 \cdot 10^{-5} + 1,4 \cdot 10^{-5} + \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{2^2} + \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{2^2} + \frac{1,3 \cdot 10^{-5}}{2^2} \quad (9)$$

$$J_{rhm} = 9,085 \cdot 10^{-5} kg \cdot m^2$$

Moment od třecích sil přesouvaných hmot.

$$M_{GT} = \frac{m_x \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_p} = \frac{24 \cdot 9,81 \cdot 0,08 \cdot \cos(0) \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,95} \quad (10)$$

$$M_{GT} = 0,016 Nm$$

Ztrátový moment v ose kuličkového šroubu.

$$M_{KSM} = \frac{F_P \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i} \cdot (1 - \eta_C^2) + \frac{1}{2} \cdot m_x \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot f_2 \cdot d_s$$

$$M_{KSM} = 0 + \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot 9.81 \cdot 0.08 \cdot 1 \cdot 0.003 \cdot 0.016$$

$$M_{KSM} = 4,52 \cdot 10^{-4} Nm$$
(11)

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru.

$$M_{zdrhm} = M_{GT} + M_{KSM} = 0,016 + 4,52 \cdot 10^{-4} = 0.016 Nm$$
(12)

Minimální moment motoru z hlediska dynamiky.

$$M_m = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{zdrhm} = 9.08 \cdot 10^{-5} \cdot 1131 + 0.0154 = 0,047 Nm$$
(13)

Statické hledisko klade požadavek na kroutící moment o velikosti  $M_m 1,113 Nm$ . Tento moment se zdá poněkud vysoký vzhledem k použitým krokovým motorům s maximálním kroutícím momentem  $1,2 Nm$ . Lze předpokládat, že stanovená maximální zatěžující síla  $F_A$  byla hraniční. Nevzniká zde totiž dostatečná doporučená rezerva pro eliminaci ztráty kroků.

Při volbě nového krokového motoru se zpětnou vazbou zajišťuje tuto rezervu ona zpětná vazba, která předá informaci v případě ztráty kroku.

Dynamické hledisko v tomto konkrétním případě neklade velké požadavky na požadovaný kroutící moment. Nabízí se zde tedy zvětšení hodnoty zrychlení. Z výpočtu vyplývá, že při zvětšení zrychlení na hodnotu  $4 m/s^2$  vzroste minimální moment z hlediska dynamiky na hodnotu  $0.93 Nm$ . Tato hodnota není směrodatná, kvůli možným a velice pravděpodobným rezonancím, které by znemožnili provoz zejména krokového motorů v těchto otáčkách.

Ideální pro určení vhodného zrychlení je otestovat motory přímo na stroji a přizpůsobit je tak, aby nevznikali nevyžádané rezonance.



## 5 STANOVENÍ CÍLŮ

Cílem této práce je výměna řídicího systému frézky. Hlavním důvodem výměny řídicího systému je zastaralost systému, zejména co se týče konektivity. CNC program lze aktuálně do frézky nahrát pouze pomocí sériové linky RS-232 či disketové jednotky nebo jej zadat do stroje manuálně. Nový řídicí systém bude v rámci konektivity nabízet klasické USB rozhraní a přes ethernetový port se bude dát připojit k místní síti.

Dílčí cíle práce:

- Návrh a výběr vhodné varianty pohonů a jejich ovladačů
- Návrh řídicího systému
- Návrh elektrických schémat k řídicímu systému
- Návrh CNC řízení včetně HMI vizualizace
- Zhodnocení

## 6 VARIANTY ŘEŠENÍ

### 6.1 Varianta 1 - zachování krokových motorů a jejich ovladačů

Tato varianta zahrnuje zachování pětifázových krokových motorů a jejich ovladačů zejména z důvodů využití již navrženého řešení firmou Emco.

Motory a ovladače motorů použité při originálním návrhu od firmy Emco by zůstali na svém místě. Z průmyslového počítače od firmy Beckhoff by byly výstupní signály (STEP, DIR) pomocí terminálů EL2521 přivedeny do ovladačů krokových motorů.

Výhody této varianty:

- finanční úspora při použití stávajících zařízení
- usnadnění návrhu a instalace

Nevýhody této varianty:

- možná degradace staré elektroniky
- nedostupnost náhradních dílů

Z důvodů nevhodnosti varianty byla tato varianta zavržena hned na samém počátku.

### 6.2 Varianta 2 - zachování krokových motorů

Zachování krokových motorů přináší úsporu financí, avšak menší než v předchozí variantě. Použití pětifázových motorů bylo v minulosti spíše výjimečné, zejména pro složitost ovladače krokového motoru, s čímž souvisela i jeho cena.

V současnosti se prakticky pětifázové krokové motory nepoužívají. Svědčí o tom zejména fakt, že sehnat ovladač pětifázového krokového motoru je poměrně složité.

Výhody této varianty:

- finanční úspora při použití stávajících zařízení
- usnadnění návrhu a instalace

Nevýhody této varianty:

- nedostupnost náhradních dílů

Modernizace řídicího systému by v tomto případě pracovala s elektronikou, při jejichž poruše by se náhradní díly sháněli velice obtížně. Pětifázové krokové motory se v obráběcích strojích dnes vyskytují velmi zřídka, a proto je vhodné stávající motory a jejich řízení vyměnit za variantu která je dostupnější, nebo přináší určité vylepšení například ve formě přesnějšího odměřování.

Z důvodu výše zmíněných byly varianty 1 a 2 zavrhnuty a dále se s nimi nepočítá.

### 6.3 Varianta 3 - pořízení nových motorů

Hlavním důvodem výměny stávajících motorů je nedostupnost náhradních dílů při případné poruše. Proto se zde přechází k návrhu nových pohonů.

Hlavní kritéria pro volbu pohonu se odvíjejí od původních krokových motorů, které mají kroutící moment 1,2 Nm a jejich vzdálenost od příruby ke konci motoru je 110 mm. Ve variantách jsou uváděny motory s větším kroutícím momentem (2,4 a 3,3) než mají motory, které jsou na stroji instalované nyní. Tyto motory byly vybrány jako alternativa k odstranění převodu a připojení motoru přímo na kuličkový šroub přes pružné spojky. Tato varianta má však vysoké požadavky na zástavbový prostor, které v současném stavu frézka nesplňuje. Byl by tedy nutný konstrukční zásah k zvětšení zástavbového rozměru nebo počítat se zmenšením rozsahu posuvu v ose X.

#### 6.3.1 Servopohon

Servomotory mají lepší dynamiku než původní krokové motory. Netrpí tolik na rezonance a dosahují vyšších rychlostí. V dnešní době se u moderních CNC strojů používají zejména servomotory. V Tab. 3 jsou servomotory od firmy Beckhoff. Motory byly voleny vzhledem k vypočítanému statickému momentu 1,113 Nm a vzhledem k zástavbovému prostoru. Jedná se o jednu z nejdražších variant.

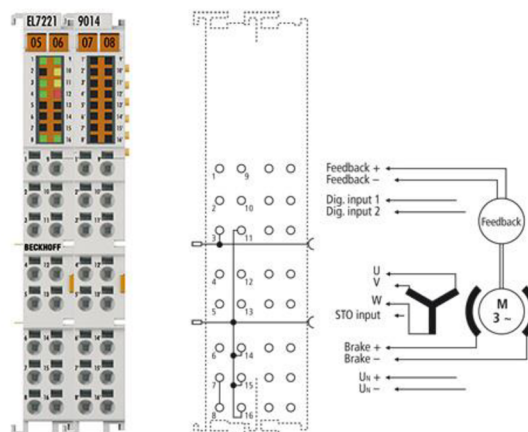
Tab. 3) Výběr motorů

Označení	Výrobce	Kroutící moment [Nm]	Proud [A]	Délka motoru [mm]	Moment setrvačnosti rotoru [kgm <sup>2</sup> ]	Rozsah otáček [ot/min]
AM8131	Beckhoff	1,35	5	129	$8 \cdot 10^{-5}$	0 – 2100
AM8141	Beckhoff	2,4	8	132	$1,08 \cdot 10^{-4}$	0 – 1300

Servomotory lze pořídit v několika konfiguracích. Pro naše potřeby byla vybrána konfigurace s použitím OCT (One Cable Technology). Konfigurace s resolverem byla cenově srovnatelná ale neumožňovala využít plný potenciál těchto motorů jako je například rozšíření o větrák ZB8610 nebo funkce STO (Safe Torque Off) při použití safety logiky.

Servopohony s OCT lze osadit pouze s absolutní zpětnou vazbou. Je zde na výběr mezi jedno otáčkovou absolutní zpětnou vazbou a více otáčkovou absolutní zpětnou vazbou. Obě tyto varianty byly naceněny. V porovnání s celkovou cenou variant servopohonu byl cenový rozdíl zanedbatelný a byla zvolena varianta s lepšími vlastnostmi, tedy varianta s více otáčkovým absolutním enkodérem.

Vhodným kompaktním servozesilovačem pro tyto motory se nabízí EL7221-9014 (Obr. 27) s přídatným větrákem ZB8610. Díky větráku je možné zvýšit proud z 4,5 A až na 8 A. To se pozitivně projeví na maximálním kroutícím momentu a rozsahu otáček.



Obr. 27) Rozšiřující karta servozsilovače EL7221-9014.

Pro jednotlivé varianty servomotorů byla sestavena cenová nabídka zahrnující i ostatní potřebné komponenty jako je například zdroj, a to zejména protože servomotory potřebují výrazně výkonnější zdroj než krokové motory, což se projevují i na celkové ceně této varianty.

Z důvodů toho, že si firma Beckhoff nepřeje zveřejňovat cenovou nabídku je cenové porovnávání jednotlivých variant realizované pouze procentuálně. Seznam komponentů pro dané varianty servopohonů je v Tab. 4 a Tab. 5.

Tab. 4) Seznam komponentů pro variantu servopohonu 1,35 Nm

Popis	Označení	Množství
Servomotor 1,35 Nm	AM8131_1J20	3
Kabel	ZK4704-0421-2020	3
Servozesilovač	EL7221-9014	3
Větrák	ZB8610	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
Zdroj 2400 W	Zdroj RSP-2400-48	1

Tab. 5) Seznam komponentů pro variantu servopohonu 2,4 Nm

Popis	Označení	Množství
Servomotor 2,4 Nm	AM8141_1J20	3
Kabel	ZK4704-0421-2020	3
Servozesilovač	EL7221-9014	3
Větrák	ZB8610	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
Zdroj 2400 W	Zdroj RSP-2400-48	1

Při srovnání těchto dvou variant servopohonu je cenový rozdíl vůči celkovým nákladům zanedbatelný. Nárůst ceny při zvolení servopohonu s větším kroutícím momentem je 2,5 % oproti variantě s menším kroutícím momentem.

### 6.3.2 Krokový motor se zpětnou vazbou

Variety krokových motorů se zpětnou vazbou jsou popsány v Tab.6

Tab. 6) Variety krokových motorů se zpětnou vazbou

Označení	Výrobce	Kroutící moment [Nm]	Proud [A]	Délka motoru [mm]	Moment setrvačnosti rotoru [kgm <sup>2</sup> ]	Rozsah otáček [ot/min]
AS2022	Beckhoff	1,53	5,6	115	$3,6 \cdot 10^{-5}$	0 – 1000
AS2041	Beckhoff	3,3	5,6	100	$1,48 \cdot 10^{-4}$	0 – 1000

Pro řízení těchto motorů jsou vhodné terminály EL7047. Tyto terminály mají v sobě implementované vstupy pro připojení zpětné vazby motoru. Použitím těchto terminálů s krokovými motory zaručuje skoro konstantní kroutící moment až do rychlosti 1000ot/s v režimu vektorového řízení. Pro navýšení kroutícího momentu lze k terminálům připojit externí větráky ZB8610, tak jako v předchozím případě.

Tab. 7) Seznam komponentů pro variantu krokového motoru 1,53 Nm se zpětnou vazbou

Popis	Označení	Množství
Krokový motor 1,5 Nm	AS2022-0H10	3
Ovladač	EL7047	3
Kabel motoru	ZK4000-5100-2030	3
Kabel zpětné vazby	ZK4000-7700-0020	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
Zdroj 3*350 W	Zdroj	3

Tab. 8) Seznam komponentů pro variantu krokového motoru 3,3 Nm se zpětnou vazbou

Popis	Označení	Množství
Krokový motor 3,3 Nm	AS2041-1H10	3
Ovladač	EL7047	3
Kabel motoru	ZK4000-5100-2030	3
Kabel zpětné vazby	ZK4000-7700-0020	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
Zdroj 3*350 W	Zdroj	3

Zde už dochází k podstatnějšímu rozdílu nákladů mezi těmito dvěma variantami. Navýšení ceny motoru s větším kroutícím momentem oproti variantě s menším kroutícím momentem je zde o 18 %.

### 6.3.3 Krokový motor bez zpětné vazby

Nejlevnější variantou při výběru motorů jsou obvyklé krokové motory bez zpětné vazby.

Tab. 9) Krokové motory bez zpětné vazby

Označení	Výrobce	Krouticí moment [Nm]	Proud [A]	Délka motoru [mm]	Moment setrvačnosti rotoru [kgm <sup>2</sup> ]	Rozsah otáček [ot/min]
AS2022	Beckhoff	1,53	5,6	102	$3,6 \cdot 10^{-5}$	0 – 1000
AS2041	Beckhoff	3,3	5,6	89,5	$1,48 \cdot 10^{-4}$	0 – 1000

Tab. 10) Seznam komponentů krokového motoru 1,5 Nm bez zpětné vazby

Popis	Označení	Množství
Krokový motor 1.5 Nm	AS2022-0H00	3
Ovladač	EL7047	3
Kabel motoru	ZK4000-5100-2030	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
3*350 W	Zdroj	3

Tab. 11) Seznam komponentů krokového motoru 3,3 Nm bez zpětné vazby

Popis	Označení	Množství
Krokový motor 3.3 Nm	AS2041-1H00	3
Ovladač	EL7047	3
Kabel motoru	ZK4000-5100-2030	3
Break choper	EL9576	1
Odpor	ZB8110	1
3*350 W	Zdroj	3

Nárůst ceny ve variantě krokové motory bez zpětné vazby je procentuálně největší. Oproti krokovému motoru s menším kroutícím momentem je zde při pořízení krokového motoru s větším kroutícím momentem nárůst ceny o 22,6 %.

## 7 ZHODNOCENÍ VARIANT

Pro výběr nového motoru jednotlivých os jsou ve variantách uváděné pouze motory od firmy Beckhoff a to zejména z důvodu použití ovladačů od této firmy. Pro tyto ovladače a konkrétní motory udává firma konkrétní charakteristiky kroutícího momentu. Tyto charakteristiky měly skoro konstantní kroutící moment až do 1000 otáček za minutu. Při srovnání s krokovými motory od firmy Microcon vykazovaly momentové charakteristiky těchto motorů pokles o víc než 50 %. Z toho důvodu a z nemožnosti zaručit, jak se budou motory chovat při řízení krokovými ovladači EL7047 byly z výběru vyřazeny.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole varianty řešení 1 a 2 byly zavrhnuty hned na samém počátku, a proto nejsou zahrnuty ani v této kapitole. Rozdíly mezi silnější a slabší verzí motoru nejsou markantní, a proto lze toto vyhodnocení vztahovat jak k variantě se zachováním převodu, tak k variantě silnějšího motoru, kde by byl převod eliminován. V ekonomickém zhodnocení jsou porovnávány varianty s menším kroutícím momentem.

### 7.1 Technické zhodnocení variant

V rámci technického zhodnocení výběru motoru byly na základě subjektivního názoru autora stanovena váha jednotlivých kritérií (parametry hodnocení). Jednotlivým variantám bylo poté udělováno bodové hodnocení od 1 do 5. Varianta s největším počtem bodů je z technického hlediska nejvhodnější.

#### 7.1.1 Jednotlivá kritéria hodnocení

##### Zpětná vazba

Zpětní vazba zvyšuje řídicí systém stroje a dává mu zpětnou informaci o poloze jednotlivých os. U servopohonu je nutná, u krokových motorů volitelná. Při absenci zpětné vazby u krokových motorů je potřeba dostatečného předdimenzování kroutícího momentu motoru, kvůli zamezení ztrátě kroku. Krokový motor se tedy nedá provozovat na hraně jeho udávaného kroutícího momentu bez rizika ztráty kroku.

##### Přetížení

Servomotory lze na krátkou dobu opakovaně přetěžovat. Lze tedy navýšit jejich kroutící moment, konkrétně u zmíněné varianty AM8131 až na 2,5 Nm při použití servozsilovače EL7221 s přídatným větrákem ZB8610.

Krokový motor se přetěžovat nedá, kvůli zmíněnému problému se ztrácením kroků, avšak přidáním zpětné vazby lze využít celý rozsah kroutícího momentu. Nejedná se tedy o klasické přetížení, nýbrž o širší využití kroutícího momentu krokového motoru. Tato vlastnost je zahrnuta do kritéria přetížení.

##### Plynulý chod

Toto kritérium porovnává plynulost chodu motorů.

##### Dynamika

Dynamikou se v tomto kritériu myslí velikost maximálních zrychlení jak pozitivního, tak negativního. Toto kritérium zahrnuje také maximální rychlost motoru, která je zde zastoupena v podobě maximálních otáček motoru.

### Zástavbový prostor

Jako již bylo zmíněno frézka je osazena motory o délce 110 mm. Motory osy Y a Z jsou v otevřeném prostoru a nejsou zde žádné požadavky na délku motoru. Oproti tomu motor osy X je součástí stolu frézky, který se pohybuje v zakrytovaném prostoru. Je zde málo prostoru, a při větší délce motoru by bylo potřeba buď upravit kryt frézky nebo zmenšit rozsah posuvu dané osy tak, aby nenarazil do stěny krytu.

### Cena

Cenový rozdíl mezi servopohony a krokovými motory je markantní. Vzhledem k malým rozsahům posuvových os, použitého prizmatického vedení a zachování převodu má v této konkrétní situaci cena větší váhu než ostatní kritéria, ve kterých servomotory vyčnívají nad krokovými motory.

Tab. 12) Technické zhodnocení variant

Parametry hodnocení	Váha [%]	Servopohon	Krokový motor se zpětnou vazbou	Krokový motor bez zpětné vazby
Zpětná vazba	15	5	5	1
Přetížení	10	5	2	1
Rovnoměrný chod	15	5	3	2
Dynamika	20	5	3	2
Zástavbový prostor	5	1	4	5
Cena	35	1	4	5
Vyhodnocení		340	360	295

## 7.2 Ekonomické zhodnocení

Jak již bylo zmíněno výše firma Beckhoff nepovoluje zveřejnění cenové nabídky, proto zde nejsou uvedeny konkrétní ceny. Varianty jsou cenově porovnávány pouze procentuálně.

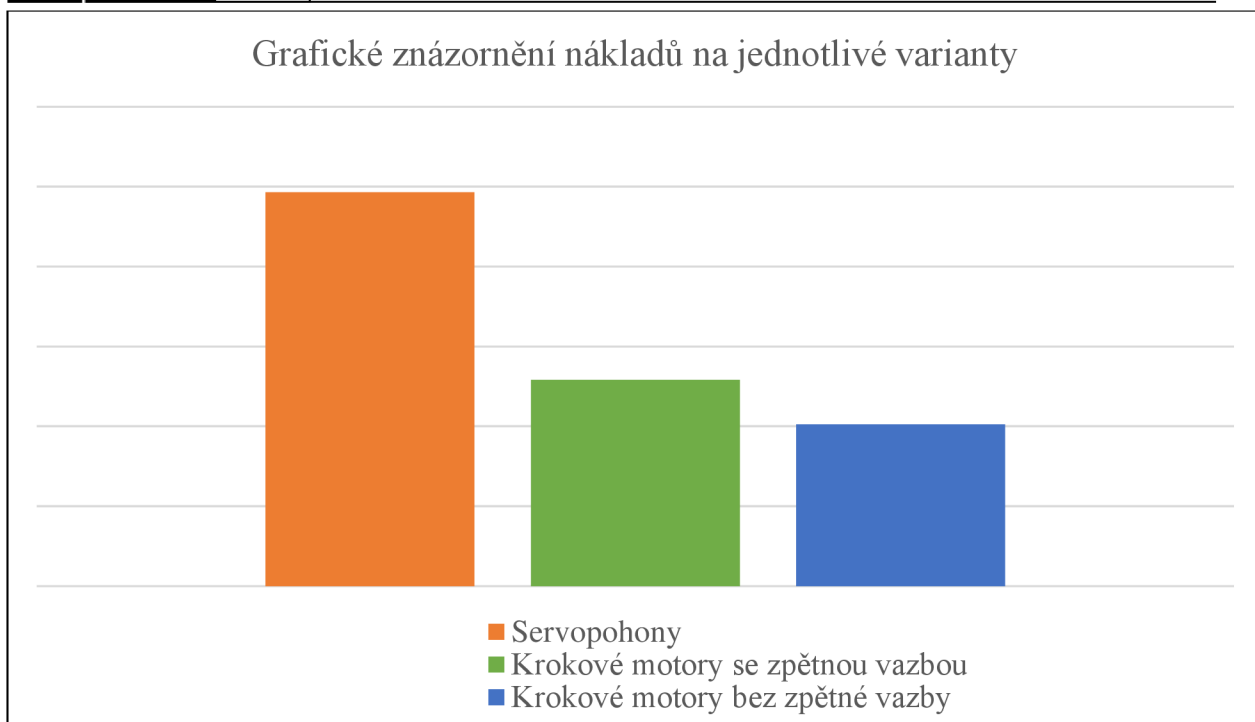
Nejlevnější varianta je varianta krokových motorů bez zpětné vazby. Obsahuje stejné komponenty jako varianta s krokovými motory s odměřováním tudíž rozdíl ceny tvoří pouze krokový motor. V porovnání pouze krokových motorů je krokový motor se zpětnou vazbou dražší o 85% oproti krokovému motoru bez zpětné vazby. Celkový rozdíl těchto dvou variant se započítáním ostatních potřebných komponentů činí 27% zdražení oproti levnější variantě.

Při porovnání těchto dvou variant bych doporučil použít variantu s odměřováním, jelikož mi zdražení 27 % v celkových nákladech přijde přijatelné.

Při porovnání servopohonů s krokovými motory se zpětnou vazbou dochází k nezanedbatelnému nárůstu ceny. Varianta servopohonu je dvojnásobně dražší, než varianta s krokovými motory se zpětnou vazbou. Je to způsobeno nejen samotnou cenou motorů, ale i dražšími komponenty, které jsou k provozu potřeba jako například zdroj napětí.

Pro lepší představu nákladů jednotlivých variant je zde vytvořen slepý graf (Obr.28).





Obr. 28) Grafické znázornění nákladů na jednotlivé varianty

### 7.3 Celkové zhodnocení

Servomotory dosahují výborných vlastností viz. Tab.12. Tyto vlastnosti by však vzhledem k již dříve zmíněným vlastnostem frézky (kluzné vedení, převod, malý rozsah pojezdů) nebyly zcela využity. Nevýhodou je náročnost daného servomotoru na zástavbový prostor, jelikož ze všech zmíněných variant má servopohon nejdelší podélný rozměr. Cena těchto servomotorů je dvojnásobná oproti variantě krokových motorů se zpětnou vazbou.

Krokový motor se zpětnou vazbou nabízí mezistupeň mezi obyčejnými krokovými motory a servomotory. Přidáním zpětné vazby se zvětší využitelný rozsah kroutícího momentu. K ztrátám kroků zde může stále docházet, avšak díky zpětné vazbě s tím systém dokáže pracovat. Cenový rozdíl variant obyčejných krokových motorů a krokových motorů se zpětnou vazbou ve zvolených variantách od firmy Beckhoff není markantní, proto se jeví toto řešení jako nejvhodnější.

Jediný důvod pro vybrání varianty krokových motorů bez zpětné vazby by byla jejich cena. Dojde zde k ušetření několika tisíc, avšak v porovnání celkových nákladů bych tuto úsporu nedoporučoval.

Z technického i ekonomického zhodnocení vyháází jako nejlepší varianta krokový motor se zpětnou vazbou, proto byla také zvolena tato varianta. Konkrétně krokový motor s kroutícím momentem 1,5 Nm s označením AS2022-0H10.

## 8 KOMPONENTY

### 8.1 Průmyslový počítač

Jako vhodný průmyslový počítač byl vybrán stroj od firmy Beckhoff s označením C6015-0010 (Obr. 29). Tento počítač obsahuje dvě síťové karty, tedy i dva konektory RJ-45. Prostřednictvím prvního konektoru je počítač propojen s ostatními automatizačními prvky pomocí EtherCATu. V našem případě je spojen pouze s couplerem, ve kterém jsou zapojeny rozšiřující karty. Do druhého konektoru může být zapojena kroucená dvojlinka vedoucí od slave zařízení, aby uzavřela logický kruh. Při tomto zapojení je při poruše (přestřihnutí kabelu) detekovaná chyba, a následující ethernetový rámeček je poslán druhou větví k odpojeným zařízením.

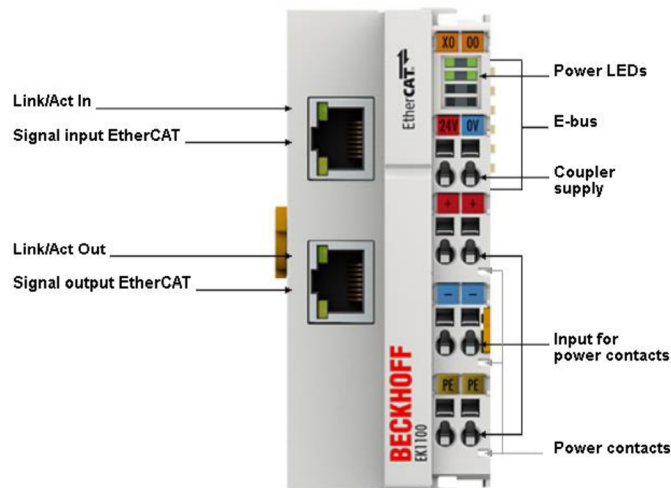


Obr. 29) Průmyslový počítač Beckhoff C6015–0010. [31]

### 8.2 Coupler

K průmyslovému počítači je přes kroucenou dvojlinku (za použití EtherCAT protokolu) připojen coupler s označením EK1100 (Obr. 30). Montuje se spolu s rozšiřovacími kartami na DIN lištu. Tento coupler obsahuje dva konektory RJ-45.

Coupler zajišťuje komunikaci mezi ním a rozšiřujícími kartami komunikujících po sběrnici E-bus. Jeden coupler zvládne připojit více než 65 000 rozšiřujících karet. Coupler je potřeba napájet 24 V stejnosměrného napětí.

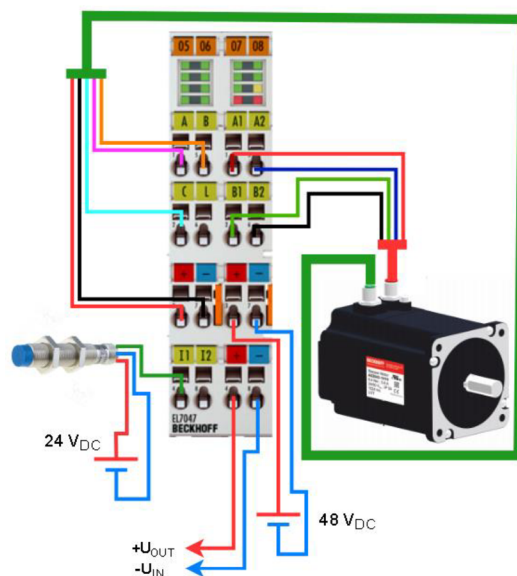


Obr. 30) Coupler EK1100 Rozšiřující karty. [31]

Rozšiřující karty slouží k připojení všech vstupů a výstupů a dalších zařízení jako jsou například krokové motory. Do coupleru jsou přes rozhraní E-bus zapojeny tyto rozšiřující karty:

#### Ovladače krokových motorů EL7047

Do coupleru jsou zapojeny celkem 3 ovladače krokových motorů s označením EL7047 (Obr. 31). Tyto ovladače zvládnou pracovat s 48 V při maximálním proudu 5 A. Součástí těchto terminálů je rozhraní pro připojení enkodéru až dvou digitálních vstupů. Na jeden z těchto vstupů se tak přivede výstup z indukčního senzoru sloužícího jako koncový spínač.

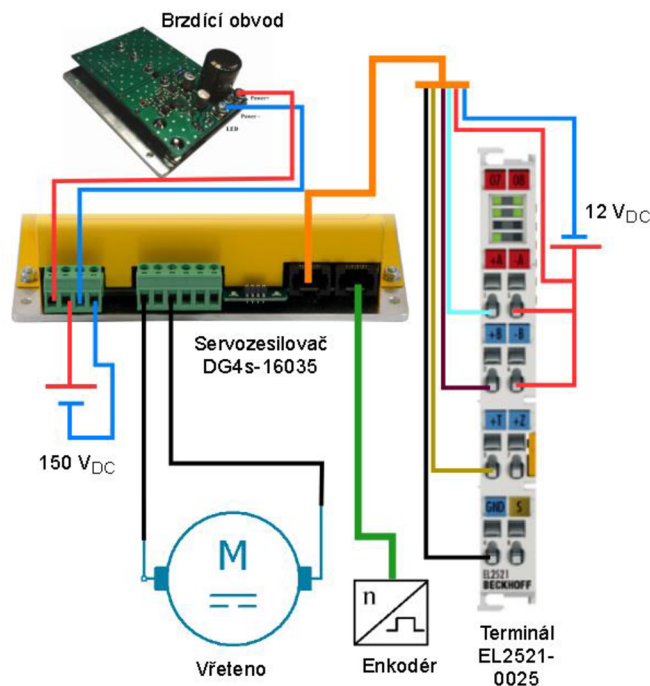


Obr. 31) Ovladač krokového motoru EL7047 zapojení. [31] [32]

Pro zvýšení kroutícího momentu lze na tyto terminály připojit přídavný větrák ZB8610. S tímto větrákem se zlepší chlazení tohoto terminálu a maximální proud vzroste z 5 na 6,5 A. Bez použití těchto přídavných větráků je potřeba dodržet doporučené uspořádání terminálů pro dostatečné pasivní chlazení.

### Ovladač vřetena EL2521

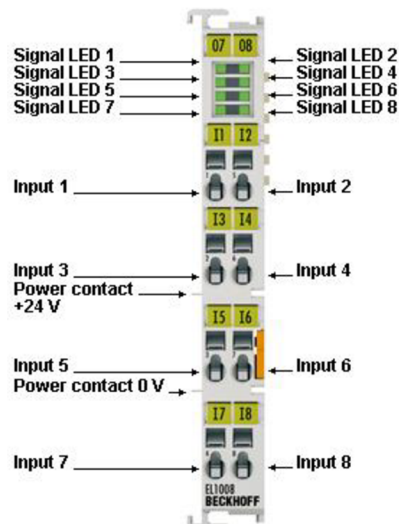
K připojení externího ovladače vřetene je použita rozšiřující karta s označením EL2521-0035, která je na Obr. 32. Tato karta posílá požadovaný signál (STEP, DIR) do externího ovladače.



Obr. 32) Rozšiřující karta EL2521 zapojení. [31] [33]

### Karta pro vstupy EL1008

Karta EL1008 (Obr. 33) nabízí až 8 digitálních vstupů. Bude použita k připojení indukčních sensorů potřebných pro výměnu nástrojů, koncových snímačů, které signalizují zavření ochranného krytu a k připojení tlačítka zastavení stroje.

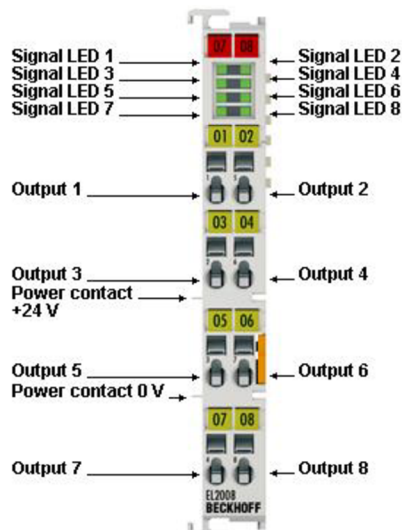


Obr. 33) Rozšiřující karta EL1008. [31]

### Karta pro výstupy EL2008

Karta EL2008 disponuje 8 digitálními výstupy a lze ji vidět na Obr. 34. Výstupy budou ovládat relé, které bude spouštět chladicí kapalinu, ventil ofuku, mazání.

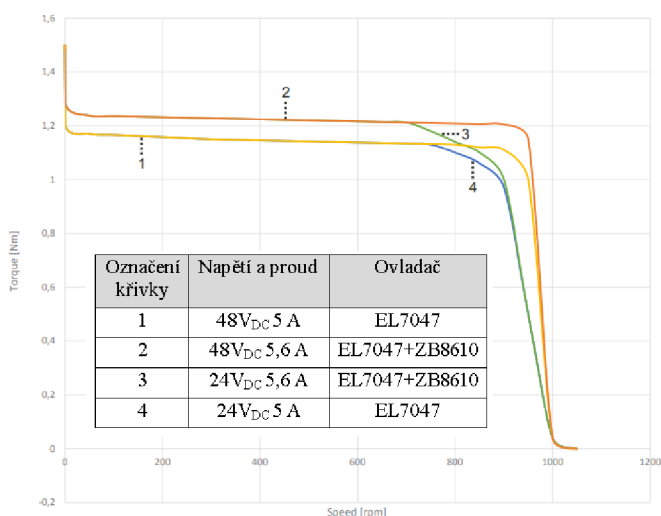
Firma Beckhoff má v nabídce i terminály s integrovaným relé, avšak cena této karty je vyšší. Navíc zde není možno při poruše relé vyměnit, tak jako je tomu u externích relé.



Obr. 34) Rozšiřující karta digitálních výstupů EL2008. [31]

### 8.3 Krokové motory

Z technického i ekonomického zhodnocení vyšel jako nejvhodnější krokový motor se zpětnou vazbou s označením AS2022-0H10. Tento motor má oproti původním motorům jiný průměr hřídele. Je zde tedy nutné přizpůsobit pastorek. Motor se připojuje k ovladači pomocí dvou kabelů, kdy jeden kabel je pro připojení vedení a druhý pro připojení enkodéru. Motory budou napájeny napětím 48 V a maximální dovolený proud je 5,6 A pro jeden motor. Momentová charakteristika motoru je zobrazena na Obr. 35. Pro využití maximálního krouťícího momentu a širšího rozsahu otáček je použit rozšiřující terminál ZB8610 k chlazení ovladače.



Obr. 35) Momentová charakteristika krokového motoru se zpětnou vazbou s označením AS2022-0H10. [31]

## 8.4 Break chopper

Firma Beckhoff doporučuje při použití rozšiřující karty EL70xx použít break chopper, konkrétně EL9576 s brzdým odporem (Obr. 36). Použitím tohoto terminálu dojde k oddělení DC napětí od napájecího zdroje. Při decelerace může vzniknout napětí vyšší, než je nastavená mez. V tomto momentu se sepne výstup do brzdného odporu. Break chopper má taky pozitivní vliv na odstranění elektromagnetického rušení (EMC). [31]



Obr. 36) Rozšiřující karta EL9576 s brzdým odporem. [31]

## 8.5 Zdroj pro krokové motory

Pro napájení krokového motoru byl vybrán průmyslový spínací zdroj 48 V, 7,5A s aktivním chlazením. Celkově budou nainstalovány 3 tyto zdroje, pro každý motor jeden.

## 8.6 Zdroj

Pro napájení průmyslového počítače, coupleru a ostatních zařízení připojené k ke coupleru jako jsou například indukční snímače slouží průmyslový zdroj S350 s jmenovitým napětím 24 V a maximálním proudem 14,5 A o výkonu 350 W. [34]

## 8.7 Zdroj logika servozesilovače

Servozesilovač pracuje s napětím 12 V. Proto byl do soustavy zapojen průmyslový spínací napájecí zdroj na DIN lištu DR30 s výkonem 30 W, který je Obr. 37. [35]



Obr. 37) Průmyslový spínací napájecí zdroj na DIN lištu 30 W DR30. [35]

## 8.8 Ovladač vřetena

Jako vhodný ovladač stávajícího vřetena byl vybrán ovladač s označením DG4S-16035 od firmy CNCdrive motion controls (Obr. 38). Tento servozesilovač pracuje s maximálním napětím 160 V a maximálním proudem 35 A. Je vybaven rozhraním pro zpětnou vazbu, kde lze připojit kabely od enkodéru vřetena.

Při použití napětí nad 80 V je výrobcem doporučeno použít externí brzdový obvod. Tento obvod brání poškození elektroniky při vzniku vygenerovaného napětí motorem, například při brždění.

Vstupní logické proměnné (STEP, DIR) a vnitřní logika pracují s napětím 12 V. [33]



Obr. 38) DC servozesilovač DG4S-16035. [33]

## 8.9 Indukční snímač

Aktuálně je na stroji nainstalováno 9 indukčních snímačů. Na ose Z jsou nainstalované 3 snímače sloužící k výměně nástrojů pomocí karuselového zásobníku nástrojů. Každá osa využívá jeden indukční snímač jako koncový snímač a jeden pro realizaci primitivní zpětné vazby. Jelikož budou motory vybaveny enkodéry, indukční snímače zajišťující primitivní zpětnou vazbu nebudou nadále využívány.

## 8.10 Relé

K spínání chladicí kapaliny, mazání a ostatních periferií bude použito elektromechanické relé od firmy Finder s označením 34.51. Toto relé pracuje s jmenovitým napětím až 250 V a maximálním trvalým proudem 6 A. Jmenovité napětí cívky je 24 V DC. [36]

Relé se montuje do patice, která je konstruována pro umístění na DIN lištu (Obr. 39).



Obr. 39) Relé od firmy Finder v patici [37]

## 8.11 Monitor

Ovládání frézky bude realizováno přes dotykový monitor. Firma Beckhoff nabízí pro účely ovládání frézky vlastní řešení v podobě kontrolních panelů složených z dotykového displeje a externích tlačítek (Obr. 40 vpravo). Toto řešení je velice komfortní, avšak jeho cena je pro danou aplikaci příliš vysoká. Z tohoto důvodu byl tento kontrolní panel nahrazen obyčejným dotykový monitor, konkrétně DELL P2418HT s 24" displejem, který je na Obr. 40 vlevo. Připojení obrazu je realizováno pomocí displayportu a dotyková vrstva je připojená pomocí USB.



Obr. 40) Dotykový monitor DELL P2418HT (vlevo), kontrolní panel BECKHOFF CP79xx (vpravo). [38] [31]

## 8.12 Periferie

K průmyslovému počítači lze pomocí USB rozhraní připojit zařízení jako k běžnému počítači. Pro lepší ovládání například při psaní delších textů lze připojit klávesnici a myš. Pro přenos vygenerovaného NC kódu pak lze pomocí flash disku soubor jednoduše přenést.



## 9 TVORBA PROGRAMU

### 9.1.1 Struktura programu

Při vygenerování nového projektu v prostředí TwinCAT se automaticky vytvoří POU (Program Organization Unit) s názvem MAIN. POU slouží k organizaci jednotlivých podprogramů. Skládá se z deklarační a implementační části. V deklarační části jsou deklarovány jednotlivé proměnné funkční bloky atd. V implementační části je sestavován samotný program, funkce nebo funkční blok. Aby byla POU aktivována, musí se na ní odkazovat v MAIN.

Jednotlivé POU mohou být psány libovolným jazykem podle normy IEC 61131-3 (ST, LD, FBD, SFC, CFC). Norma zahrnuje i jazyk IL, který je na ústupu a aktuálně s ním nejde POU v prostředí TwinCAT založit.

Rozdělujeme 3 druhy POU:

#### Program

Program po spuštění vrací jednu nebo více hodnot. Poté co je program proveden jsou hodnoty uchovány, dokud program není spuštěn a proveden znovu. Funkce na rozdíl od programu a funkčního bloku nemůže vyvolat program. Program nepoužívá instance je volán přímo jeho názvem například „ST\_Test()“. [31]

#### Funkce

Funkce jsou taková POU, jejichž výstupem je pouze jedna datová hodnota. Tato hodnota může být také matice. Naopak počet vstupů do funkce není omezen. Na rozdíl od programu a funkčního bloku je výstup z funkce při zachování stejných vstupů vždy stejný. Je to způsobeno tím, že funkce nemá žádné stavové informace neboli neukládá hodnoty svých proměnných do dalšího běhu. [31]

#### Funkční blok

Funkční blok má libovolný počet vstupů a výstupů. Na rozdíl od funkce v sobě uchovává stavové informace, což znamená, že interní proměnné zůstávají zachovány do následujícího zavolání funkčního bloku. To má za následek, že volání stejného funkčního bloku se stejnými vstupy nezaručuje vždy stejné výstupy. Funkční blok je vždy volán instancí, která představuje jeho kopii. Každá tato instance musí být deklarována v podobě proměnné. [31]

### 9.1.2 Datové typy

TwinCAT využívá standartních a uživatelem definovaných datových typů (Tab. 13). Datový typ specifikuje velikost místa, které pro něj bude v paměti rezervováno a jaký typ hodnot se ukládá.

Tab. 13) Výběr ze základních datových typů

Datový typ	Velikost paměti	Hodnoty	Popis
BOOL	8 Bit	True/False	Logický datový typ 1/0
BYTE	8 Bit	0-255	Celočíselný datový typ
INT	16 Bit	-32768-32767	Celočíselný datový typ
UINT	16 Bit	0-65535	Celočíselný bezznaménkový typ

UDINT	32 Bit	0-4294967295	Celočíselný zvětšený bezznaménkový typ
REAL	32 Bit	od -3,402823e38 do 3,402823e38	Reálný datový typ s plovoucí desetinou čárkou
STRING	String Size + 1 Byte	Jakýkoliv znak	Textový datový typ, velikost podle deklarace, výchozí nastavení 80 znaků
WORD	16 Bit	0-65535	Celočíselný datový typ
TIME	32 Bit	0ms-71582m47s295ms	Datový typ zaznamenávající čas

Kromě těchto základních typů jsou v rámci diplomové práce použity také následující datové typy.

#### AXIS\_REF

Tento datový typ uchovává informace os jako jsou například poloha a rychlost override vždy pro danou osu. Mimo to zajišťuje komunikaci mezi NC a PLC. [31]

#### ZeroShiftDesc

Datový typ sloužící k uchování informace o posunutí souřadnicového systému. Je součástí funkčního bloku ItpWriteZeroShiftEx, který posunutí souřadnicového systému vykonává. [31]

#### ToolDesc

Datový typ uchovávající v sobě databázi nástrojů, jejich označení, typ a parametry jako jsou například délka a průměr nástroje. [31]

#### PLCTONC\_NCCHANNEL\_REF

V cyklická komunikace z PLC do NC jsou obsaženy informace o hodnotě override, jestli je daná funkce typu Handshake a další. [31]

#### NCTOPLC\_NCCHANNEL\_REF

Cyklická komunikace z NC do PLC. Jsou zde obsaženy informace o čísle právě vykonávaného bloku, počtu synchronně běžících M funkcí, otáčky vřetene, číslo aktuálně používaného nástroje, aktuální rychlost posuvu a další. [31]

### **9.1.3 Programovací jazyky**

Norma IEC 61131-3, neboli CoDeSys (Control Development System), je vývojové prostředí definující programovací jazyky pro programovatelné automaty (PLC). Tato norma představuje univerzální vývojové prostředí pro aplikační programy řídicích systémů PLC bez specifických požadavků na použitý hardware. Výsledkem je vytvoření jednotné programové a datové struktury, která nezávisí na výrobci PLC. [31]

Níže jsou popsány jazyky, se kterými se v projektu pracuje.

#### Structured Text (ST)

Strukturovaný text má své kořeny v jazyku jako je například Pascal. Jedná se o vyšší programovací jazyk vhodný pro zápis náročných programů. Je složen výrazy, operátory a dále pracuje s příkazy jako jsou například IF, CASE, WHILE atd. [17]

Většina práce je psána právě pomocí jazyka ST. Ukázku z programu je na Obr. 41.

```

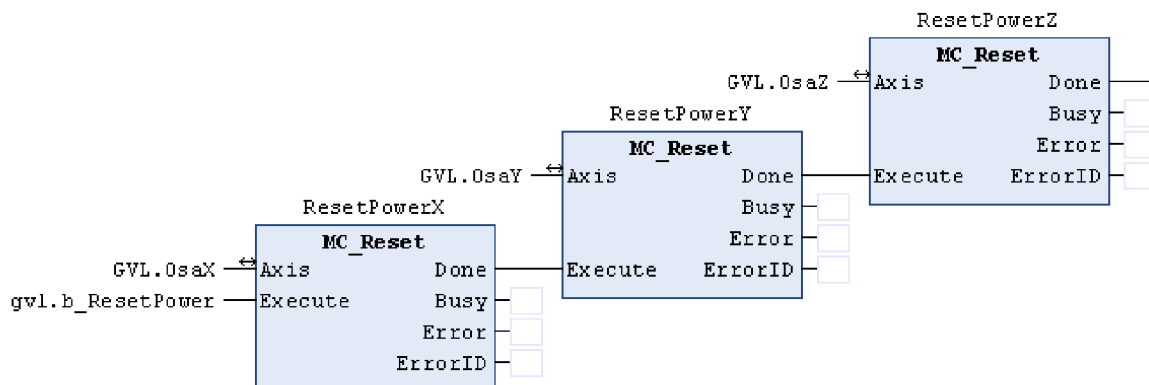
//OBNOVA INFO PANELU
IF set THEN
  gvl.n_State:=9999; //resetován info panelu
  state_set:=100; //stav resetování časovače
  ncount:=ncount+1; //kontrolní součet
  set:=FALSE; //reset podmínky if
END_IF

CASE state_set OF //case pro nastavené časovače
10://timer ON
  tmr(IN:=TRUE , PT:=T#10000MS , Q=>set , ET=> );
100://reset tmr
  tmr(IN:=FALSE);
  state_set:=10;
END_CASE
  
```

Obr. 41) Ukázka ST pro obnovu informačního panelu

### Function Block Diagram (FBD)

Funkční blokové schéma (Obr. 42) je grafickým jazykem. Skládá se s obdélníkových funkčních bloků, které jsou propojeny spojnícemi. [17]



Obr. 42) Příklad použití FBD pro resetování ovladačů DP.

Mimo výše zmíněné dva jazyky norma zahrnuje dále Instruction List (IL) neboli posloupnost instrukcí, Sequential Function Chart (SFC) neboli vývojový diagram, Continuous Function chart (CFC) a Ladder Diagram (LD). Tyto jazyky v práci nejsou popsány, jelikož nejsou při tvoření programu použity.

#### **9.1.4 Použité knihovny**

Kromě základní knihovny funkcí a funkčních bloků definovaných normou IEC 61131-3 nabízí TwinCAT rozšíření v podobě dalších knihoven. Tyto knihovny lze pak vyhledat a přidat přímo v prostředí programu. Použité knihovny při tvorbě řídicího systému frézky jsou popsány níže.

#### Tc2 standard

Tato knihovna obsahuje základní funkční bloky, které jsou definovány v normě IEC 61131-3. Tyto funkční bloky lze rozřadit do kategorií jako jsou bistabilní funkční bloky, spouštěcí funkční bloky, počítadla, časovače a řetězová funkce. [31]

## Tc2\_MC2

Knihovna Motion Control (Tc2\_MC) obsahuje funkční bloky pro ovládání posuvových os od spuštění přes referování, nastavení druhu pohybu (relativní, absolutní, inkrementální), čtení polohy rychlostí až k resetování. [31]

## Tc2\_NCI

Tato knihovna obsahuje funkční bloky interpolační skupiny a provozování NC interpreteru, který má za úkol realizaci instrukcí z NC kódu podle normy DIN 66025. [31]

## 9.2 Vlastní program

V celém programu je dodržováno formátování k přehlednosti jednotlivých proměnných, funkčních bloků a programů. Programy začínají velkým písmenem P například P\_Jog. Funkční bloky začínají označením FB příkladem FB\_Power\_X. Proměnné byly značeny malým písmenem začátečního písmene datového typu proměnné, podtržítkem a názvem proměnné. Jako příklad lze uvést tlačítko pro rychloposuv b\_Rapid.

Při vytváření programu byly téměř všechny proměnné ukládány do Global Variable List (Gvl) pro lepší orientaci při volání proměnných z různých míst programu. Pomocné proměnné, které nejsou volány jiným programem nebyly deklarovány v Gvl, ale přímo v programu, kde jsou použity.

### 9.2.1 Main

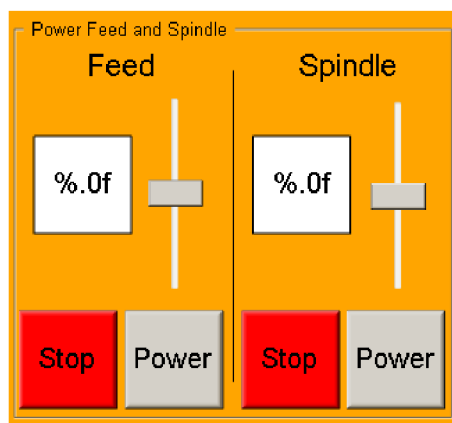
Program Main slouží pro inicializaci jednotlivých podprogramů řídicího systému.

### 9.2.2 Zapnutí vřetene a posuvů os

Po sepnutí příslušných tlačítek Power dochází k zapnutí vřetene a pohonů stroje. Po sepnutí těchto tlačítek se jejich barva změní na zelenou. Tato barva signalizuje zapnutý stav. Nastavení override probíhá pomocí posuvného táhla směrem nahoru. Hodnota je zobrazena vlevo od táhla. Override lze také nastavit kliknutím na zobrazovanou aktuální hodnotu a zadáním požadované hodnoty.

V tomto panelu je obsaženo také tlačítko zastavení vřetene a zastavení pohybových os. Obě tyto tlačítka jsou realizována pomocí funkčního bloku MC\_Stop. Panel zapnutí vřetene je zobrazen na Obr.43.

## Vizualizace



Obr. 43) Vizualizace zapínání posuvů os a vřetene.

### 9.2.3 Zastavení posuvů a vřetene

Zastavení posuvů os a vřetene je realizováno v programu P\_Stop. Zastavení probíhá pomocí funkčního bloku MC\_Stop. Po zmáčknutí příslušného tlačítka zastaví osy a vřeteno nadefinovanou brzdou rampou. Osy a vřeteno jsou zablokovány neboli nepřijímají další pohybové instrukce. K znovu zprovoznění stroje je nutno resetovat tlačítko spuštění funkčního bloku.

Jak již bylo zmíněno funkční blok MC\_Stop lze aktivovat tlačítkem Stop nebo otevřením předních dveří stroje. V případě otevřených dveří tedy také není možné zadávat pohybové instrukce.

Ve vizualizaci se nachází celkem 3 tlačítka Stop. Dvě z nich jsou umístěné v panelu zapnutí vřetene a posuvů os a třetí se nachází v pravém horním rohu. Ke stroji je také přes rozšiřující kartu EL2008 připojeno tlačítko pro zastavení pohonů odpojením výkonové části napájení od motorů. Toto tlačítko spadá do kategorie 0 normy ČSN EN 60204-1. Jedná se tedy o neřízené zastavení bezpečnostním vypnutím.

### 9.2.4 Manuální pohyb

Program pro manuální pohyb nese název P\_Jog. Na začátku programu je nadefinovaná logika pro jednoznačné zvolení pohybu jejíž funkce je popsána níže ve vizualizaci. O samotný pohyb se stará funkční blok MC\_Jog. Tento funkční blok se využívá jak pro kontinuální režim, tak pro krokový režim. Přepínáním mezi těmito režimy je realizováno proměnou Mode. Touto proměnou je také zapínán rychloposuv. Pro realizaci krokového režimu musela být do funkčního bloku doplněna rychlost, která se standardně po vyvolání tohoto bloku nezobrazí. Rychlosti standardního posuvu a rychloposuvu jsou definovány v parametrech osy.

V další části programu je definován funkční blok MC\_reset pro resetování os v případě potřeby. Resetování odpovídá ve vizualizaci tlačítko Driver reset XYZ, které je součástí panelu pro referování os pohonů.

Na konci tohoto programu je realizováno mazání kluzného vedení pomocí časovače Tof. Po zmáčknutí pomocné proměnné ve vizualizaci gvl.b\_Mazani\_p je aktivován časovač. Po uplynutí nastaveného času se proměnná gvl.b\_Mazani sloužící k spínání relé pro mazání překlopí do hodnoty false.

#### Vizualizace

Manuální režim se stává aktivním při kliknutí na aktivační tlačítko b\_Manual\_Jog. Poté má obsluha na výběr ze dvou režimů.

První režim s názvem plynulý uskutečňuje pohyb při sepnutí a držení příslušného tlačítka do doby, než se příslušné tlačítko uvolní. Při plynulém režimu je zde na výběr ze dvou nastavení rychlosti, a to standardní rychlosti a rychloposuvu. Standardní rychlost je nastavena jako výchozí. Pomocí tlačítka rapid lze aktivovat rychloposuv. Po deaktivaci tlačítka rychloposuvu je znovu nastavena standardní rychlost. Velikost těchto rychlostí je definována v parametrech jednotlivých os.

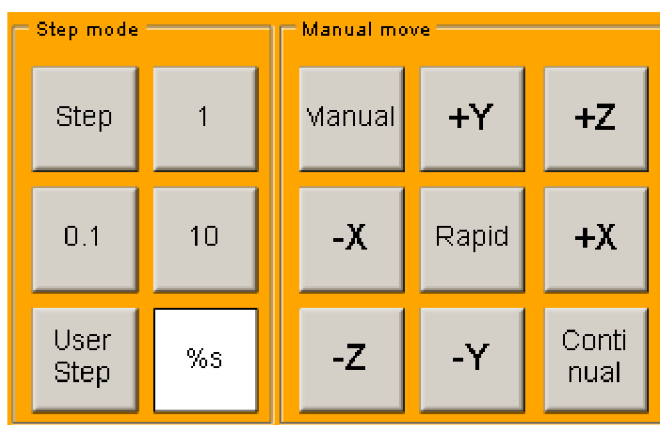
Při zvolení režimu Step dochází k pohybu osy o předem nastavenou vzdálenost (krok) při zaznamenání náběžné hrany. Znamená to tedy, že nezáleží na době držení příslušného tlačítka, ale na počtu zmáčknutí tohoto tlačítka po uskutečnění pohybu. Pro velikost kroku jsou předdefinované tři konstantní hodnoty. Pro širší výběr je zde naprogramována možnost zadání vlastní velikosti kroku. Tato velikost se zadá do příslušného pole a je aktivována tlačítkem User step.

Tlačítka pro ovládání jednotlivých os jsou deaktivována do doby, než uživatel vybere režim pohybu případně velikost kroku. Tato deaktivace slouží k zamezení nechtěnému pohybu stroje.

Pro jednoznačnost zvoleného režimu je při aktivaci jednoho režimu druhý automaticky deaktivován, aby nedošlo k sepnutí obou režimů současně, což by mohlo způsobit chybu.

Pro uživatelsky přívětivější ovládání je vizualizace naprogramovaná tak, že při vypnutí manuálního režimu se automaticky vynulují zvolené režimy případně velikost zvoleného kroku a u kontinuálního režimu se deaktivuje rychloposuv.

Na Obr. 44. lze vidět ovládací panel pro manuální ovládání os. Pokud je tlačítko manuálního posuvu aktivované, deaktivuje se možnost spuštění interpolační skupiny a tlačítko aktivace absolutního/aditivního pohybu.



Obr. 44) Manuální ovládání pohybu.

### 9.2.5 Absolutní pohyb

Absolutní pohyb do zadaných souřadnic obstarává program s názvem P\_Move\_ABS. V tomto programu je samotný absolutní pohyb realizován pomocí funkčního bloku MC\_MoveAbsolute. Do programu byl implementován také pohyb aditivní neboli přírůstkový, a to pomocí funkčního bloku MC\_MoveAdditive. Přepínáním mezi těmito mody je realizováno pomocí proměnné gvl.b\_AD.

Absolutní pohyb se může vztahovat jak k souřadnicovému systému stroje, tak k posunutému souřadnicovému systému. Toho je docíleno pomocí přičtení posunutí definovaného v programu P\_Korekce.

Obsluha má možnost volby SS pomocí příslušných tlačítek. Pokud není sepnuté ani jedno z těchto tlačítek aktivováno, tlačítko GO pro aktivaci absolutního pohybu je deaktivované.

V programu je vytvořena podmínka pro ovládání zobrazení symbolu načítající květiny, která je zobrazená, pokud jsou osy ovládány pomocí absolutního nebo aditivního pohybu.

### Vizualizace

Po zvolení jedno z tlačítek souřadnicového systému je obsluze zpřístupněna možnost zadat požadovanou pozici. Samotný pohyb je vykonán po stisknutí tlačítka GO. Tlačítka

souřadnicového systému jsou deaktivována, pokud jsou osy ovládány interpolační skupinou nebo manuálním pohybem.

Při sepnutí tlačítka `gvl.b_AD` je nad požadovanou pozici zobrazen nápis „ADDITIVE“ sloužící k varování obsluhy, že je zapnutý přírůstkový režim.

Najíždění do požadované polohy signalizuje načítající symbol květiny, který zmizí v momentě dosažení požadované pozice.

Pro potřeby simulace programu jsou do panelu pro absolutní pohyb přidány tlačítka simulující použité indukční snímače. Snímače X, Y, E slouží k simulaci koncových spínačů pro referování jednotlivých os. Snímač REF slouží k referenci zásobníku. Snímač MOUNT značí správně upnutý obrobek a snímač DOOR signalizuje otevření posuvných dveří stroje. Panel absolutního pohybu je zobrazen na Obr. 45.



Obr. 45) Panel absolutního pohybu s tlačítky pro simulaci indukčních snímačů.

### 9.2.6 Referování os

Referování os stroje frézky je definované v programu `P_home`. Reerování je prováděno pomocí funkčního bloku `MC_Home`. Jako koncové snímače definované v tomto funkčním bloku `bCalibrationCam` jsou použity původní instalované indukční snímače.

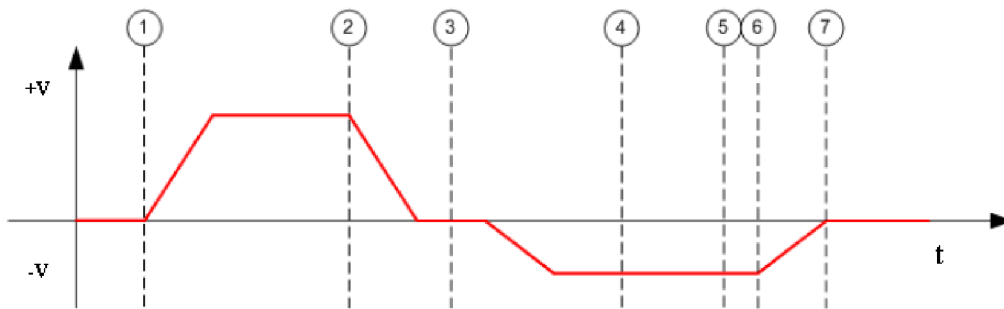
Referování všech os probíhá současně. Při ožívování stroje je v případě potřeby možné převrátit směr najíždění osy na koncový snímač v parametrech enkodéru jednotlivých os.

Při spuštění funkčního bloku `Mc_Home` pomocí proměnné `gvl.Referovani_XYZ` dochází k rozjetí os proti indukčním snímačům. Poté co koncový snímač detekuje osu dochází k změně pohybu směrem od koncového snímače. V momentě, kdy dojde k rozepnutí (stav logické 0) koncového snímače, osa pokračuje v pohybu a čeká na synchronizaci od enkodéru. Poté co je synchronizace provedena začne osa zpomalovat do úplného zastavení. Pozice zastavené osy se liší od zreferované pozice, jelikož proces probíhá při pohybu. Pro názornost je tento proces popsán na Obr. 46, kde je znázorněn časový průběh rychlostí. [31]

Popis jednotlivých bodů:

1. Spuštění referování, osa se pohybuje směrem ke koncovému snímači.
2. Detekce osy koncovým snímačem.
3. Zastavení a následná změna směru pohybu osy.
4. Rozepnutí koncového snímače.
5. Pokračování v pohybu a čekání na synchronizaci enkodéru.

6. Detekce synchronizace, nastavena předem zadaná pozice.
7. Zastavení osy.



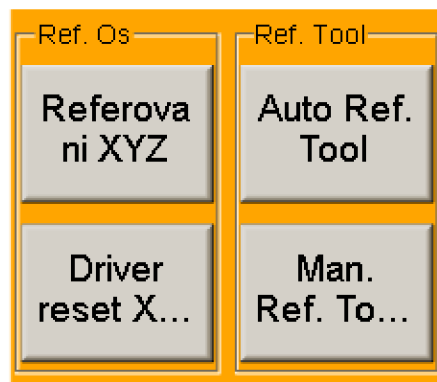
Obr. 46) Závislost rychlosti na čase s jednotlivými body referování. [31]

### Vizualizace

Ve vizualizaci je referování obsluhováno jednoduchým tlačítkem. Po zapnutí stroje je zobrazen nápis informující obsluhu o tom, že stroj nebyl zreferován. Lze ovládat manuální posuv stroje, avšak absolutní pohyb a automatický režim je deaktivován do doby, než budou osy zreferovány.

Pro simulaci těchto indukčních snímačů je lze z vizualizace spínat a rozpínat pomocí příslušných tlačítek viz kapitola výše.

Do panelu vizualizace (Obr.47.) byl přiřazen také reset ovladačů motorů. Tento reset slouží k resetování ovladačů os pohonů v případě výskytu erroru.



Obr. 47) Panely pro ovládání referování os a referování zásobníku nástrojů.

### **9.2.7 Zásobník nástrojů**

Zásobník nástrojů obsluhují dva programy, a to program pro referování zásobníku P\_Referovani\_zasobniku a program pro výměnu nástroje P\_Tool\_change.

#### Referování zásobníku

Referování zásobníku je vyžadováno po startu stroje. Dokud není zásobník zreferován jsou deaktivované tlačítka startu NC programu, startu absolutního pohybu a korekce nástroje. Toto opatření je zavedené, protože stroj nemá informace o aktuálně upnutém nástroji. Referování zásobníku může probíhat automaticky nebo manuálně.



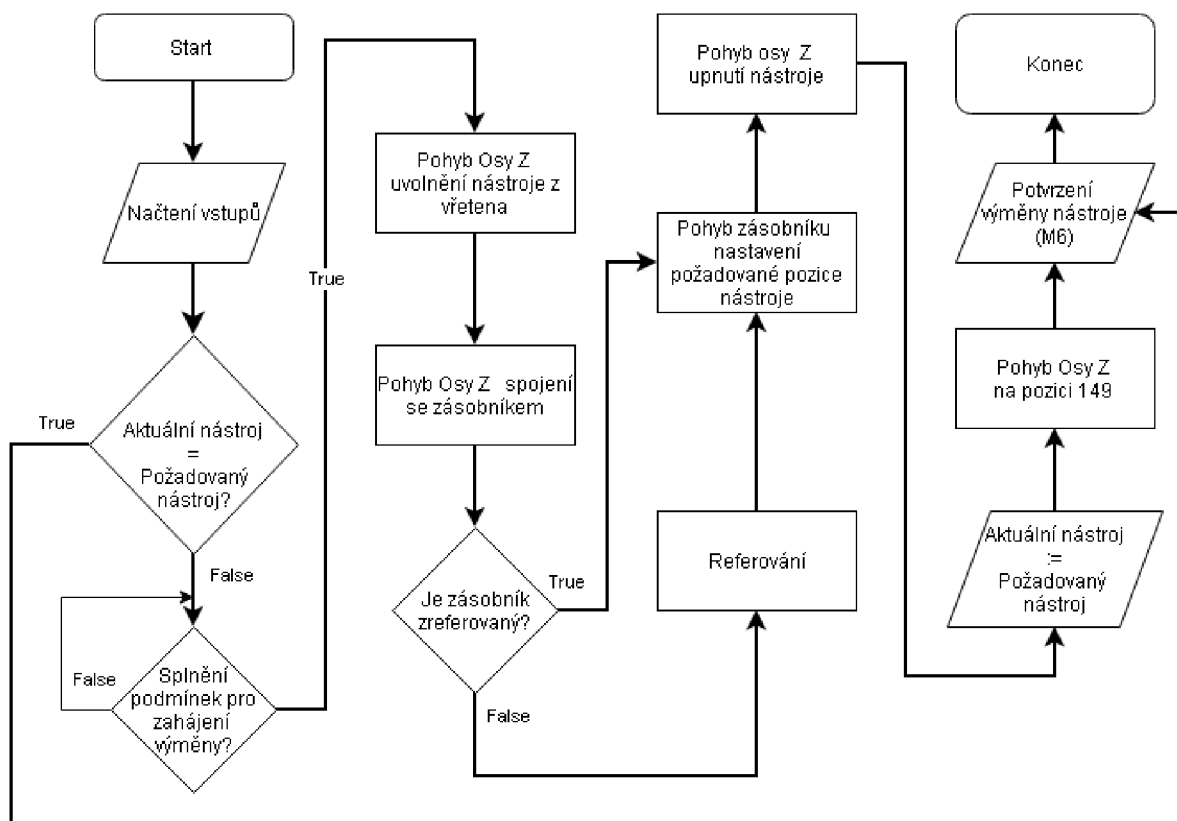
Při manuální referování obsluha zmáčkne příslušné tlačítko a zadá aktuálně upnutou pozici nástroje ve vřetenu.

Na začátku automatického referování dochází k zastavení otáček vřetena a ověření, že otáčky vřetena jsou nulové. Osa Z je poté najeto do pozice, kdy dojde k oddělení nástroje od vřetena. Nástroj zůstává v zásobníku a osa Z pokračuje do pozice, kde dochází ke spojení ozubeného kola připevněného na vřetenu s ozubeným kolem zásobníku. V tomto bodě se zásobník může otáčet a nehrozí kolize vřetena a nástrojů umístěných v zásobníku. Vřeteno se roztočí definovanou rychlostí a je zastaveno v momentě sepnutí indukčního snímače gvl.b\_Tool\_Ref, který sepne při detekci plíšku. Tato pozice odpovídá upnutí nástroje číslo 1. Osa Z najede do pozice pro upnutí nástroje. Při upínání nástroje je aktivován ofuk, aby očistil upínač nástroje od případných nečistot. Potvrzení správného upnutí je signalizováno indukčním snímačem gvl.b\_Tool\_connected.

Automatické referování proběhne i při výměně nástroje pokud je hodnota proměnné gvl.Actual\_Tool =0, což značí nezreferovaný zásobník. Tato situace může nastat pouze při změně nástroje vyvolané ve vizualizaci pomocí zadání chtěného nástroje a odsouhlasení kliknutím na tlačítko tool change, jelikož automatický režim je při nezreferování zásobníku deaktivován.

### Výměna nástroje

Program P\_Tool\_change pro výměnu nástroje je spuštěn buď uživatelem ve vizualizaci nebo příkazem Tx M6 v automatickém režimu, kde x představuje číslo požadovaného nástroje. Při automatickém režimu je nutno zrušit interpolační skupinu pro možnost pohybovat s osou Z. Aby systém měl dostatek času na zrušení interpolační skupiny a ovladač motoru osy Z nehlásil chybu je zde vytvořena pomocná proměnná b\_zpozdeni, která je ovládána pomocí časovače Ton. Pokud jsou splněny všechny podmínky (zrušená NC skupina, požadavek na výměnu nástroje, vřeteno se neotáčí a pomocná proměnná b\_zpozdeni) začne výměna nástroje. Výměna nástroje probíhá stejně jako při referování. Vřeteno je prvně zastaveno. Osa Z najede do příslušné pozice, kde se oddělí nástroj od vřetena a pokračuje do pozice kdy se spojí ozubené kolo vřetena s ozubeným kolem zásobníku. Pokud zásobník není zreferovaný proběhne reference zásobníku. Pokud je zásobník zreferovaný, rozdílem hodnoty gvl.Actual\_Tool a gvl.Tool (aktuální pozicí a požadovanou pozicí) se zjistí počet pozic, o který se má zásobník otočit. Určení směru otáčení pro minimalizaci potřebného času zajišťuje podmínka porovnávající, zdali tento rozdíl je větší než pět. V případě, že je rozdíl větší pohybuje se zásobník na opačnou stranu o příslušný počet pozic, aby se nastavil do požadované polohy zvoleného nástroje. Stroj poté pomocí pohybu osy Z spojí nástroj do vřetena tak, jako v případě referování zásobníku. Po vykonaném upnutí je osa Z do definované pozice. Vývojový diagram výměny nástroje je na Obr 48.



Obr. 48) Vývojový diagram výměny nástroje.

### 9.2.8 NC Interpreter

V programu s názvem P\_NC\_Interpreter je po aktivaci proměné gvl.b\_NC\_Skupina vytvořena interpolační skupina pomocí funkčního bloku CfgBuild3DGroup. V tomto funkčním bloku jsou přiřazeny jednotlivé osy stroje k osám interpolační skupiny. Proměná gvl.n\_NC\_Skupina slouží také ke zrušení interpolační skupiny. V programu jsou definovány další funkční bloky sloužící k nahrání, uložení, smazání, zastavení či pokračování NC programu. Je zde také definován režim provádění NC programu, a to buď standardní kontinuální režim nebo režim vykonávání programu po jednotlivých blocích vhodný při odladování programu.

V rámci programu P\_NC\_Interpreter je hodnota override os převedena do hodnoty override vzniklé interpolační skupiny. Lze tak ovládat jedním override jak osy v manuálním posuvu, tak v automatickém režimu. Nakonec je zde v případě výskytu chyby převedeno číslo chyby do textu, který umožňuje uživateli lépe rozpoznat danou chybu.

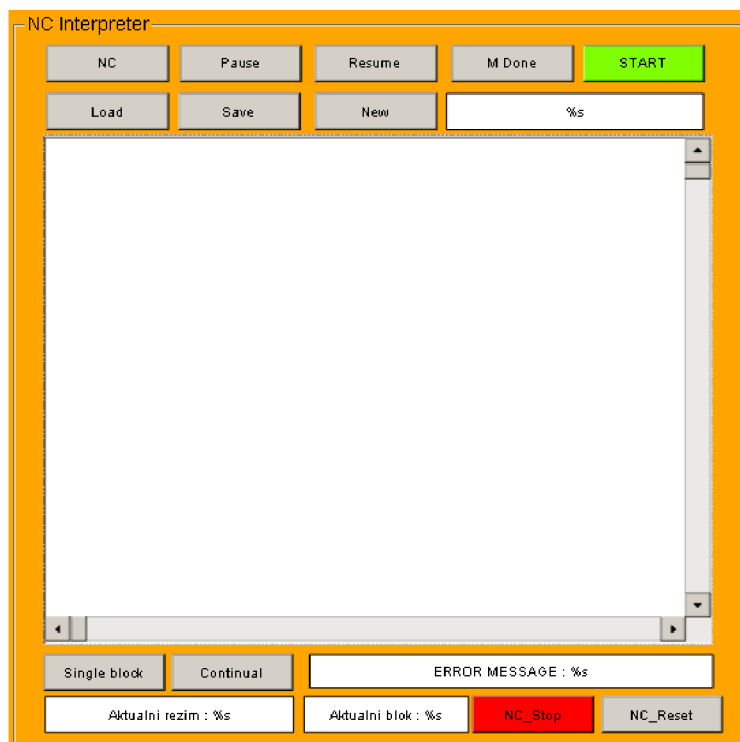
Z cyklické komunikace NC a PLC jsou vytaženy informace o čísle právě prováděného bloku. Toto zobrazení funguje za předpokladu, že program v sobě obsahuje čísla jednotlivých bloků.

#### Vizualizace

K aktivaci tlačítka NC Skupina pro vytvoření interpolační skupiny je zapotřebí, aby nebylo aktivní žádné manuální ovládání os stroje. Ze skupiny NC Interpreter ve vizualizaci je možné nahrávat program do paměti stroje, upravovat či vytvořit nový program. Tlačítkem start lze spustit aktuálně nahraný program za předpokladu zavřeného krytu stroje a zreferovaných os stroje.

Standardně je aktivován kontinuální režim, kdy se po splnění aktuálního bloku začne vykonávat blok následující. Sepnutím tlačítka Single block se aktivuje režim po jednotlivých blocích. Tento režim slouží k odzkoušení a doladění nově upraveného či nahraného programu. Po ukončení prováděného bloku je program přerušen. Následující blok se začne provádět až po stisknutí potvrzovacího tlačítka. Roli potvrzovacího tlačítka ve vizualizaci přebírá tlačítko spuštění programu Start. Režim po blocích musí být zvolen před spuštěním programu.

Ve spodní části skupiny NC Interpreter se nachází textové pole s označením čísla právě probíhajícího bloku a další textové pole signalizující zprávu případné chyby. Panel automatického řízení je zobrazen na Obr. 49.



Obr. 49) Panel NC řízení.

### 9.2.9 NC Funkce

Program P\_NC\_funkce se stará o rozpoznávání a provádění jednotlivých M funkcí. Poté co je funkce provedena dojde k potvrzení (handshake), což umožní interpreteru zpracovávat další blok.

V rámci M funkcí jsou z právě prováděných bloků čteny také parametry S udávající rychlost otáček vřetena v ot/s a parametr T udávající číslo nástroje.

Program je aktivován při zaznamenání M funkce v cyklické komunikaci NC s PLC pomocí funkčního bloku ItpgetHskMFunc. Po splnění podmínky volání M funkce se aktivuje příkaz odpovídající číslu volané M funkce ve struktuře CASE. Do struktury CASE byly doplněny základní M funkce jako je roztočení vřetena na požadovanou rychlost, výměna nástroje, zapnutí a vypnutí chlazení pomocí chladicí kapaliny a ukončení programu, který deaktivuje NC skupinu a provede zastavení vřetena.

Při provádění funkce roztočení vřetena (M3, M4) jsou pomocí funkčního bloku ItpGetSPParam zjištěny hodnoty S parametrů udávající požadovanou rychlost vřetena z cyklické

komunikace NC s PLC. Při výměně nástrojů (M6) jsou stejným způsobem zjištěny hodnoty požadovaného nástroje pomocí funkčního bloku ItpGetTParam.

V případě, že je aktivována jiná M funkce, než je nadefinována v struktuře CASE je na Informačním panelu zobrazena zpráva „Nepodporovaná M funkce“ a splnění této funkce není odsouhlaseno. Pokračovat v programu lze pomocí odsouhlasením M funkce tlačítkem, avšak s vědomím, že daná M funkce nebude provedena. Pokud M funkce není definována v nastavení interpreteru, program tuto funkci vůbec nezaznamená a pokračuje dál.

### 9.2.10 Korekce

Program P\_Korekce slouží k vytvoření souřadnicového systému obrobku a k zadání korekčních parametrů nástroje. V programu jsou zadávány pouze hodnoty průměru a délky nástroje.

#### Korekce nástroje

Korekční parametry nástroje jsou do systému zapisovány pomocí funkčního bloku ItpWriteToolDescEx a čteny ItpReadToolDescEx. Jednotlivé parametry jsou ukládány do struktury ToolDesc. Do parametru s číslem 2 zapisuje program délku nástroje a do parametru číslo 3 průměr nástroje.

K zadání délky a průměru slouží ve vizualizaci textové pole, které po rozkliknutí umožní obsluze vložit hodnoty těchto parametrů. Pro zapsání těchto hodnot do paměti stroje je potřeba zmáčknout tlačítko Korekce Write. Pro přečtení parametrů aktuálně zvoleného nástroje slouží tlačítko Korekce Read.

Korekce je možné zapisovat pouze pokud má stroj informaci o čísle aktuálně upnutého nástroje. Pokud hodnota gvl.Actual\_tool je rovna nule znamená to, že zásobník nebyl zreferován a stroj tedy nemá informaci o parametrech nástroje. Zápis těchto parametrů je znemožněn deaktivací celého panelu s názvem Korekce nástroje. (Obr. 50.)

#### Vizualizace



Obr. 50) Panel Korekce nástroje

#### Posunutí SS obrobku

Souřadnicový systém obrobku vznikne posunutím souřadnicového systému stroje. Uživatel může nadefinovat až 6 posunutých souřadnicových systémů (G54 – G59). Po zapnutí stroje je automaticky do hodnoty gvl.Identifikator\_pos\_SS zapsána hodnota 54 označující číslo posunutého souřadnicového systému. Pro definici více než jednoho posunutého SS obrobku slouží zadávací tlačítko User SS. Po kliknutí na toto tlačítko se zadá hodnota (54-59) která je zapsána do proměnné gvl.Identifikator\_pos\_SS. Samotný zápis posunutí je realizován pomocí

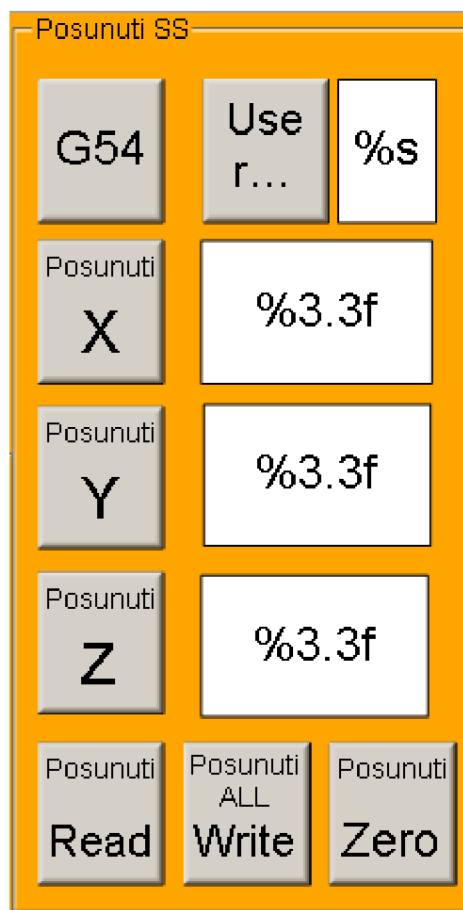
funkčního bloku ItpReadZeroShiftEx, kdy hodnoty jednotlivých posunutí jsou uloženy ve struktuře ZeroShiftDesc. Spuštění tohoto funkčního bloku lze provést dvěma způsoby.

První způsob je tzv. naškrábnutí obrobku. Obsluha najede osou Z do požadované vzdálenosti posuvu SS, lehce se dotkne obrobku na jeho vrchní části. Po zmáčknutí tlačítka Posunutí Z je zapsána aktuální pozice do posunutého SS. Od této hodnoty je odečtena délka nástroje. Stejným postupem je i u os X a Y. K tomuto způsobu je potřeba mít v paměti stroje informace o parametrech aktuálně upnutého nástroje, jelikož tento způsob s těmito parametry počítá.

Druhá možnost je zadat přímo souřadnice posunutí do příslušného pole a zapsat je do paměti pomocí tlačítka Posunutí ALL Write. Pro zrušení posunutí SS obrobku slouží tlačítko Posunutí Zero. Po stisknutí tohoto tlačítka se velikost posunutí SS obrobku vynuluje. SS obrobku bude tedy totožný s SS stroje.

Hodnoty posunutí souřadnicového systému obrobku jsou zobrazeny při kliknutí na tlačítko Posunutí Read. Panel realizující posunutí SS je zobrazen na Obr. 51.

### Vizualizace



Obr. 51) Panel Posunutí SS

### 9.2.11 Čtení pozice

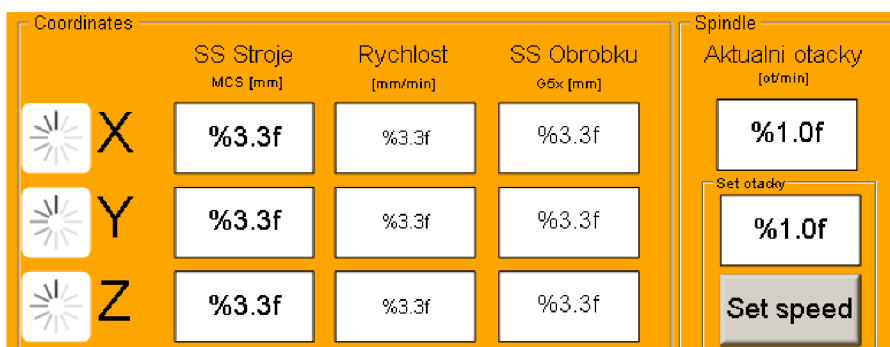
Z cyklické komunikace mezi NC a PLC jsou v programu P\_Cteni\_hodnot vytáhnuty informace o aktuální poloze a rychlosti os a pozice jednotlivých os. Standardně jsou hodnoty rychlosti v cyklické komunikaci uchovávány v mm/s, proto došlo k převodu pomocí vynásobení těchto hodnot šedesáti.

Pro zobrazení pozic stroje vůči posunutému SS je od aktuálních pozic z NC a PLC komunikace odečteno posunutí SS. V případě osy Z je zde odečtena také délka nástroje.

Dále jsou programu naprogramovány pomocné proměnné k zobrazení symbolu načítající květiny. Vizualizace je zobrazena na Obr.52

### Vizualizace

Do panelu souřadnic bylo vloženo okno zobrazující otáčky vřetena ot/min. Pod tímto zobrazením, se nachází pole pro zadání požadované rychlosti otáčení vřetena. K aktivaci těchto hodnot je potřeba sepnout tlačítko Set speed.



Obr. 52) Zobrazení panelu souřadnic.

### 9.2.12 Informační panel

Pro zobrazování informací o právě probíhající činnosti stroje slouží Info Panel. Zprávy jsou do panelu vkládány pomocí proměnné `gvl.s_Info_Message`. Zprávy jsou zobrazovány pomocí určení priorit. Zápis jednotlivých zpráv a zobrazování těchto zpráv funguje na principu stavového automatu. Princip funkce je popsán na události otevření předních posuvných dveří stroje.

Pro otevření dveří (`gvl.b_Door=1`) odpovídá stav `gvl.n_State=200`. Před zapsáním tohoto stavu do proměnné `gvl.n_State` je ověřeno, že se v systému nenachází zpráva z vyšší prioritou pomocí podmínky `gvl.n_State>200`. Priorita jednotlivých zpráv je určena velikostí hodnoty `gvl.n_State`. S rostoucí hodnotou `gvl.n_State` klesá priorita zprávy. Zpráva otevření dveří tedy může být zobrazena, pokud se nezobrazuje žádná zpráva (`gvl.n_State=9999`) nebo pokud má zobrazovaná zpráva menší prioritu.

Největší prioritu na informačním panelu má tlačítko Stop. Poté následuje kryt zavřených dveří a poté následují chyby. Nakonec přijdou na řadu informace o zvoleném režimu řízení stroje, do kterých spadá například odbavování M funkcí. Informační panel také informuje uživatele, aby v rámci simulace zmáčknul tlačítka simulující indukční snímače například při referování os.

Zprávy tak zůstávají ve frontě a čekají, než dojde k zobrazení zpráv s vyšší prioritou. Pro smazání zprávy dokončeného úkonu, například informace o dokončení referování, je k panelu přidána dodatečná aktualizace každých 10 sekund. Tato aktualizace slouží pouze k odstranění starých zpráv nemá vliv na rychlost zobrazení nových zpráv.

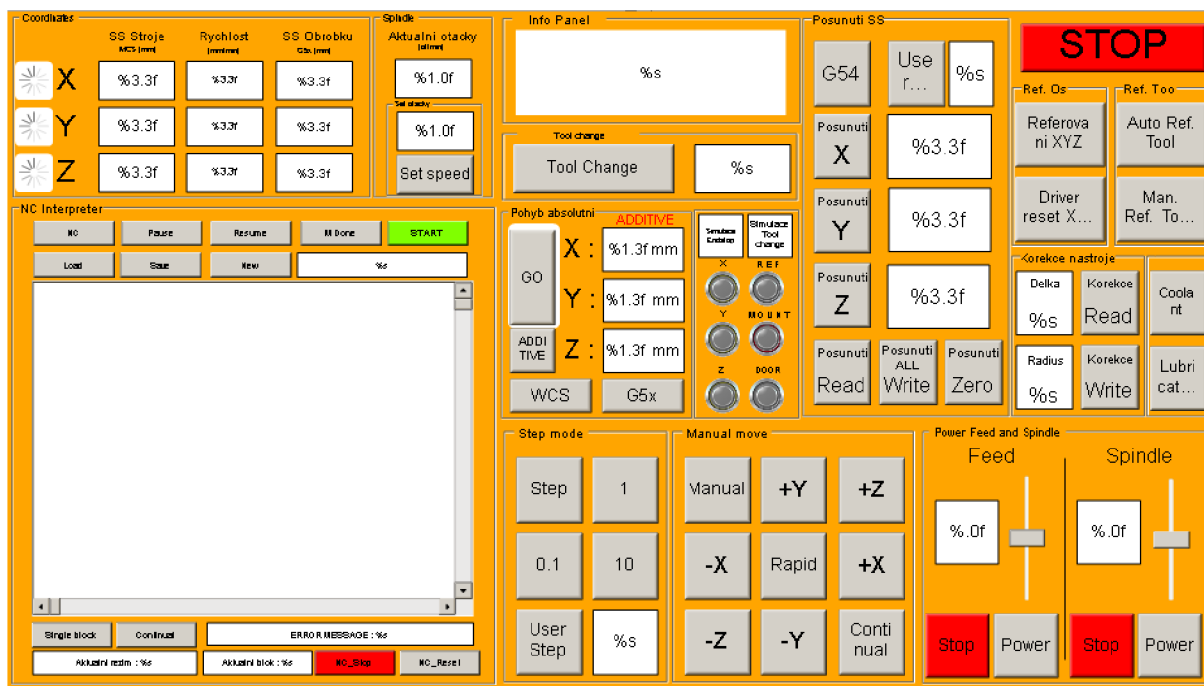
### 9.2.13 Celková vizualizace

Celková vizualizace je na Obr. 53. Po nastartování průmyslového počítače dojde k zapnutí řídicího systému frézky. K ovládání frézky je potřeba aktivovat ovladače jednotlivých pohonů os a zadat hodnotu override. Po aktivaci se uživateli zpřístupní ovládání.

Frézku je před samotným používáním nutno nejdříve zreferovat. Po zreferování stroje se v informačním panelu zobrazí zpráva zreferováno. Poté je obsluze umožněno spustit automatický režim. K spuštění automatického režimu a rychloposuvu a otáčení vřetena je nutné, aby čelní kryt byl v poloze zavřeno.

Jednotlivé skupiny ovládacích prvků jsou při operaci s vybranou skupinou deaktivovány z důvodu zajištění jednoznačnosti zadávaných pokynů a zabránění případné kolizi vstupních dat.

Vedle panelu korekcí nástroje se nachází tlačítko mazání kluzného vedení. Pokud uživatel klikne na tlačítko, aktivuje se čerpadlo po dobu stanovenou v časovači tof, který tuto proměnou ovládá. Vedle tohoto tlačítka se nachází také tlačítko chlazení chladicí kapalinou. Po sepnutí je aktivováno chlazení.



Obr. 53) Celková vizualizace.

## 10 NAPASOVÁNÍ SOFTWARE NA HARDWARE

V rámci DP nedošlo k objednání potřebného hardwaru. V této kapitole je jsou popsány úkony potřebné k napasování vytvořeného softwaru na příslušný hardware.

Po připojení hardwaru je v záložce I/O potřeba provést skenování tlačítkem Scan. Program automaticky rozpozná nalezené zařízení. Je však potřeba k jednotlivým terminálům přiřadit jednotlivé vstupní a výstupní proměnné.

### 10.1 Nastavení parametrů krokových motorů

V záložce MOTION se nachází osy pohonů. Pomocí záložky Parametr lze do systému zadávat parametry osy jako jsou rychlosti, zrychlení a softwarové koncové polohy. Vyplněné parametry osy X jsou zobrazeny na Obr.54. Tyto hodnoty nejsou konečné. Záleží na konkrétní instalaci a odladění ostatních parametrů motorů, testováním motorů přímo na stroji.

Parameter	Offline...	Online Value	Unit
Maximum Dynamics:			
Reference Velocity	35.0	35.0	mm/s
Maximum Velocity	35.0	35.0	mm/s
Maximum Acceleration	120.0	120.0	mm/s <sup>2</sup>
Maximum Deceleration	120.0	120.0	mm/s <sup>2</sup>
Default Dynamics:			
Default Acceleration	100.0	100.0	mm/s <sup>2</sup>
Default Deceleration	100.0	100.0	mm/s <sup>2</sup>
Default Jerk	100.0	100.0	mm/s <sup>3</sup>
Manual Motion and Homing:			
Homing Velocity (towards plc cam)	7.0	7.0	mm/s
Homing Velocity (off plc cam)	7.0	7.0	mm/s
Manual Velocity (Fast)	20.0	20.0	mm/s
Manual Velocity (Slow)	10.0	10.0	mm/s
Jog Increment (Forward)	5.0	5.0	mm
Jog Increment (Backward)	5.0	5.0	mm

Obr. 54) Parametry osy X.

U krokových motorů je také potřeba nastavit parametry enkodéru. Parametr Scaling Factor Numerator udává velikost posunutí osy vztažené na jeden inkrement enkodéru. Hodnoty potřebné pro výpočet parametru Scaling Factor Numerator jsou uvedené v Tab. 14.

Tab. 14) Hodnoty pro výpočet Scaling Factor Numeratoru

Stoupání kuličkového šroubu $s$ [mm]	5
Převodový poměr $i$	2
Počet inkrementů enkodéru [inc/ot] [31]	1024

Z převodového poměru a stoupání kuličkového šroubu je vypočten posuv osy vztažený na otáčku motoru  $s_m$ .



$$s_m = \frac{s}{i} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ mm} \quad (14)$$

Scaling Factor Numerator se poté vypočítá jako podíl posuvu na otáčku motoru a počtu inkrementů enkodéru.

$$\text{Scaling Factor Numerator} = \frac{s_m}{\text{Počet inkrementů enkodéru}} = \frac{2.5}{1024} \quad (15)$$

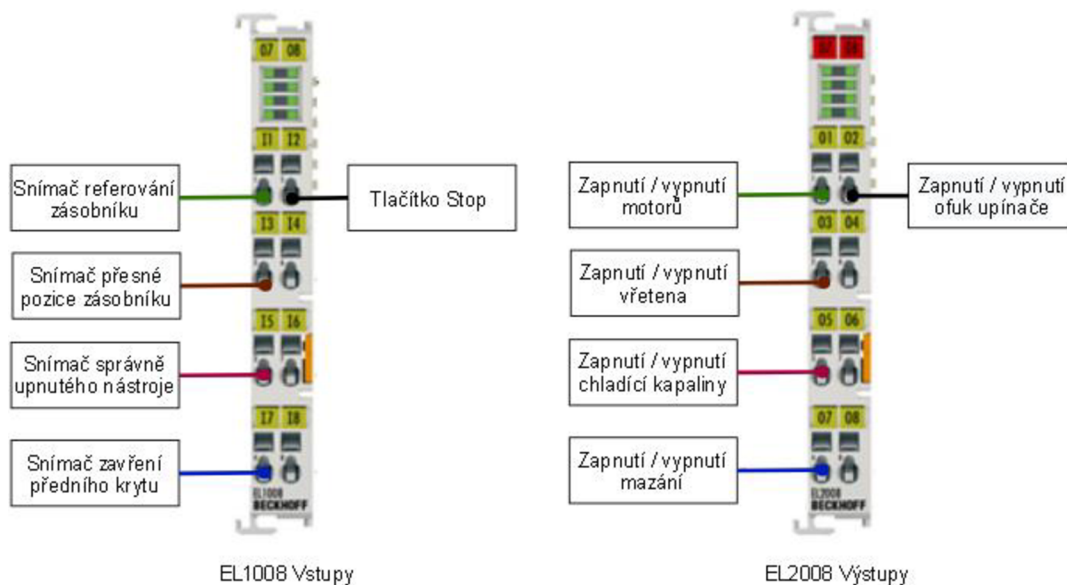
$$\text{Scaling Factor Numerator} \doteq 2,4414 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

V parametrech enkodéru lze také v případě potřeby obrátit směr najíždění na koncový snímač os, případně směr pohybu od snímače při jeho detekci.

Pokud se osa pohybuje opačným směrem, než je požadováno, směry os jsou prohozené. Tento problém lze vyřešit převrácením hodnoty Invert Motor Polarity. V záložce Driver lze tento směr změnit na požadovaný.

### 10.1.1 Nastavení I/O

Přiřazení jednotlivých vstupů vychází z návrhu elektrického schéma. K rozšiřujícím kartám pro vstupy a výstupy je potřeba na patřičné svorky přiřadit jednotlivé proměnné. Popis funkcí jednotlivých svorek je popsán na Obr.55. V příloze diplomové práce se poté nachází detailnější schéma elektrického zapojení.



Obr. 55) Znáornění připojení I/O do rozšiřujících karet EL1008 a EL2008.

## ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V této práci byly vytvořeny 3 varianty návrhů nových pohonů. Každá variant obsahovala motor s větším kroutícím momentem pro realizaci připojené přímo na kuličkový šroub pohybových os a motor s nižším kroutícím momentem.

Varianta silnějšího motoru byla zavrhnuta kvůli vysokým požadavkům na zástavbový prost a složitosti připojení motoru na kuličkový šroub.

V případě zanedbání cenového kritéria by servopohony byly jasnou volbou, pro jejich vynikající dynamické vlastnosti. Cenové kritériu tu hrálo však největší roli. A proto byly vybrány krokové motory s horšími parametry, ale s polovičními náklady na pořízení těchto motorů. Byla tedy zvolena klasický střední cesta, a to kroková motory se zpětnou vazbou.

Pro vybranou variantu bylo vytvořeno elektrické schéma zapojení přiložené v příloze.

Pro napájení vřetena byl použit stávající zdroj energie. Tento zdroj disponuje také napětím 48 V, avšak kvůli nedostatku informací výkonu zdroje byly pro krokové motory navrhnutý zdroje nové. Bylo by tedy dobré ověřit použitelnost tohoto zdroje také pro napájení krokových motorů, čím by došlo k další cenové úspoře.

Vytvořený řídicí program obstarává všechny funkce popsané v kapitole 9.2. Jelikož nedošlo k reálnému připojení fyzického hardwaru k softwaru, nelze s jistotou potvrdit bezchybnost systému. Vlastnosti jednotlivých motorů se výrazně mění v závislosti na zvolených parametrech. V rámci simulace byl systém otestován a jeví se jako funkční.

Výměna nástrojů však má stále své nedostatky. Při samotné výměně je potřeba ovládat osu Z, která je však v momentě výměny součástí interpolační skupiny. Pro samotnou výměnu je proto interpolační skupina deaktivována a pro provedení výměny nástrojů znovu aktivována. Vzniká zde prostor pro vylepšení. Také po výměně nástroje nedochází k automatickému posunutí souřadnicového systému obrobku v závislosti na délce nástroje.

Jako poslední program byl vytvářen program sloužící k zobrazování zpráv. Jak už bylo řečeno tento program je inspirován stavovým automatem. Jako vhodnou metodu bych doporučil tento způsob programování implementovat do celého programu řídicí frézky.

## 11 ZÁVĚR

První částí práce byl zmapován současný stav související s problematikou řízení CNC obráběcích strojů a jejich prvky. Byla zde popsána jejich funkce a princip.

Dále byly popsány parametry frézky EMCO VMC100 nacházející se v prostorách školy. Pro ověření vhodnosti použitého motoru byl vypočítán odhad potřebného kroutícího momentu pro návrh nového motoru.

Varianty použití stávajících krokových motorů a jejich řízení byly zavrhnuty z důvodů nedostupnosti součástí. Motory byly navrženy ve třech variantách. Ze všech vhodných navržených variant byly vybrány krokové motory se zpětnou vazbou AS2022-0H10, jejichž kroutící moment je 1,53 Nm.

Pro zapojení motorů bylo vytvořeno elektrické schéma nacházející se v příloze.

Posledním bodem práce bylo vytvoření nového řídicího systému obstarávajícího manuální ovládání pohonu os, automatické ovládání realizované NC řízení, referování jednotlivých os a spínání např. chladicí kapaliny nebo mazání kluzného vedení. Mimo tyto funkce je řídicí systém schopen automatické výměny nástrojů.

Pro správnou funkcionalitu systému by bylo potřeba řídicí systém otestovat a odladit v praxi.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] DUCHOSLAV, Petr. Jak funguje CNC stroj?. *Factoryautomation* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/jak-funguje-cnc-stroj/>
- [2] POLÁŠEK, Ing. Jaromír. *Číslicově řízené stroje* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31\\_Cislicove\\_rizene\\_stroje.pdf](http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf)
- [3] MCV 800 Quick. In: *Kovosvit* [online]. [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-800-quick-p46.html#main>
- [4] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [5] Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení. *Factoryautomation* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
- [6] HVĚZDA, Petr. *CNC výroba tvarové součásti*. Zlín, 2011.. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.
- [7] RYDLO, Ing. Pavel. *Krokové motory a jejich řízení. Elektronické skriptum*. Liberec: [online]. Liberec: Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií Technická univerzita v Liberci, 2000 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://cis.wz.cz/elz/krok2.pdf>
- [8] FAQ: často pokládané otázky o krokových motorech. *Servo-drive* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [https://www.servo-drive.cz/%C4%8Dasto\\_pokl%C3%A1dan%C3%A9\\_ot%C3%A1zky\\_o\\_krokov%C3%BDch\\_motorech.php?fbclid=IwAR1EezNrWDwrD223TPq-Vvhr5CwuNiCTZ6FPLSJell6RSsq4Y17HWxUH2EE#Rozd%C3%ADl%20mezi%20bipol%C3%A1rn%C3%ADmi%20a%20unipol%C3%A1rn%C3%ADmi%20krokov%C3%BDmi%20motory](https://www.servo-drive.cz/%C4%8Dasto_pokl%C3%A1dan%C3%A9_ot%C3%A1zky_o_krokov%C3%BDch_motorech.php?fbclid=IwAR1EezNrWDwrD223TPq-Vvhr5CwuNiCTZ6FPLSJell6RSsq4Y17HWxUH2EE#Rozd%C3%ADl%20mezi%20bipol%C3%A1rn%C3%ADmi%20a%20unipol%C3%A1rn%C3%ADmi%20krokov%C3%BDmi%20motory)
- [9] KROKOVÝ MOTOR - ZPŮSOBY ZAPOJENÍ. *EUFACTORY* [online]. 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [https://shop.eufactory.com/blog/14\\_krokov%C3%ADmi%20motory-zapojeni](https://shop.eufactory.com/blog/14_krokov%C3%ADmi%20motory-zapojeni)
- [10] *Krokové motory* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-lomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- [11] Přehled produktů. *Microcon* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>
- [12] ZDENĚK, Kolíbal. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [13] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 210 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-01-02902-6.
- [14] SIEMENS SIMODRIVE 611, SIMOVERT MASTERDRIVES MC: 1FT6 synchronous motors. Říjen 2005.
- [15] KOPAL, Ing. Miroslav. Odměrovací systémy a jejich vliv na přesnost. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z:

<https://www.mmspektrum.com/clanek/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost.html>

- [16] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 80-01-03123-3.
- [17] BENEŠ, Pavel, Josef JANEČEK, Jindřich KRÁL et al. *Automatizace a automatizační technika. 1, Systémové pojetí automatizace*. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2012, 217 stran : ilustrace. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [18] MENDŘICKÝ, Radomír. *Zpětnovazební prvky a čidla odměřování.: Princip a funkce fotoelektrických snímačů*. [online]. 2014 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3427>
- [19] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2015, 240 s. : il. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [20] *SEIEMENS SINUMERIK SINUMERIK 840D sl/ 828D Základy: Programovací příručka* [online]. 2011 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/280/53859280/att\\_74738/v1/PG\\_0211\\_cz\\_cs-CZ.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/280/53859280/att_74738/v1/PG_0211_cz_cs-CZ.pdf)
- [21] BLÁHA, Karel. *PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ* [online]. 2016 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13279/mod\\_resource/content/1/Ru%C4%8Dn%C3%AD%20programov%C3%A1n%C3%AD%20\\_ro%C4%8Dn%C3%ADk\\_NOV%C3%81.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13279/mod_resource/content/1/Ru%C4%8Dn%C3%AD%20programov%C3%A1n%C3%AD%20_ro%C4%8Dn%C3%ADk_NOV%C3%81.pdf)
- [22] *Nebojte se FANUC programování – seznamte se s CNC systémy bez hranic (III)* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/priklady-z-programovani-ridici-system-fanuc/nebojte-se-fanuc-programovani-seznamte-se-s-cnc-systemy-bez-hranic-iii\\_47315.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/priklady-z-programovani-ridici-system-fanuc/nebojte-se-fanuc-programovani-seznamte-se-s-cnc-systemy-bez-hranic-iii_47315.html)
- [23] CNC portfolio. *Mall.industry.siemens.com* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/7500002?tree=CatalogTree>
- [24] Siemens Sinumerik 828D CNC with version 4.8 operating software. *Machines4sale* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://machines4sale.com/en/News/2/36520/Siemens-Sinumerik-828D-CNC-with-version-48-operating-software>
- [25] CNC Series 0i-MODEL F. *Fanuc* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system/series-0i-f>
- [26] Further Advancing the World Standard CNC from FANUC: FANUC Series 0i-MODEL F. *Fanuc* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs\\_0i-f.html](https://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/fs_0i-f.html)
- [27] Controlling Machine Tools. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/produkty/cnc-rizeni/](https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/)

- [28] TNC 640 – The Contouring Control for Milling and Milling/Turning Machines. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-640/](https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-640/)
- [29] Instruction Book VMC 100 with Emcotronic TM02. 90-10.
- [30] Berger Lahr – Systemlösungen: 5-Phasen-Schrittmotoren. NR. 0590 S.1.
- [31] *Beckhoff Information System* [online]. Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://infosys.beckhoff.com/index\\_en.htm](https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm)
- [32] *TME* ® *Electronic Components* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://www.tme.eu/cz/details/ime12-08npszc0s/indukcni-cidla-valcova-dc/sick/?brutto=1&gclid=CjwKCAjwxLH3BRApEiwAqX9arRBIicVxQ1sAnRIg0XUB3Q8w9cLe1MTeJ\\_3nSYCgCFbBoDI8b43zdhoC7MUQAvD\\_BwE](https://www.tme.eu/cz/details/ime12-08npszc0s/indukcni-cidla-valcova-dc/sick/?brutto=1&gclid=CjwKCAjwxLH3BRApEiwAqX9arRBIicVxQ1sAnRIg0XUB3Q8w9cLe1MTeJ_3nSYCgCFbBoDI8b43zdhoC7MUQAvD_BwE)
- [33] DG4S series: DC Servo drive. *CNCdrive motion controls* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://www.cncdrive.com/downloads/DG4S\\_series\\_manual.pdf](https://www.cncdrive.com/downloads/DG4S_series_manual.pdf)
- [34] S350 - průmyslový spínaný napájecí zdroj 350W. *Cncshop* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/s350-prumyslovy-spinany-napajeci-zdroj-350w>
- [35] DR30 - průmyslový spínaný napájecí zdroj na DIN lištu 30W. *Cncshop* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/dr30-prumyslovy-spinany-napajeci-zdroj-na-din-listu>
- [36] Relé úzké do patice / do PS 0,1 - 0,2 - 2 - 6 A (EMR nebo SSR). *G-finder* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://gfinder.findernet.com/public/attachments/34/CS/S34CS.pdf>
- [37] 39.01.0.024.0060 | FINDER: Relay Interface Module 1c 6A 24VAC/DC. *SOS electronic* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.cz/products/finder/39-01-0-024-0060-1-302348>
- [38] DELL P2418HT. *TSBOHEMIA* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://www.tsbohemia.cz/dell-p2418ht\\_d285966.html](https://www.tsbohemia.cz/dell-p2418ht_d285966.html), <https://www.beckhoff.com/CP79xx/>





# 12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 12.1 Seznam použitých zkratk

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
BCS	Základní souřadnicový systém
BNS	Základní souřadnicový systém počátku (nuly)
CF	Compact Flash
CFC	Continuous function chart
CNC	Computer Numeric Control
CoDeSys	Control Development System
DC	Direct Current
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
ENS	Nastavitelný souřadnicový systém
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology
FBD	Function Block Diagram
Gvl	Global Variable List
HMI	human machine interface
I/O	Input/Output
LD	Ladder Logic Diagram
m	Metr
MCS	Souřadnicový systém stroje
mm	Milimetr
NC	Numeric Control
Nm	Newton metr
OCT	One Cable Technology
PLC	Programmable logic control
POU	Program Organization Unit
s	Sekunda
SFC	Sequential Function Chart
SS	Souřadný systém
ST	Structured Text
STO	Safe Torgue Off
TOF	Timer OF
TON	Timer ON
TwinCAT	The Windows Control Automation Technology
USB	Universal Serial Bus
UVSSR	Ústav výrobních strojů, systémů a robotů
V	Volt
VUT	Vysoké učení technické
W	Watt
WCS	Souřadnicový systém obrobku

## 12.2 Seznam použitých symbolů

Symbol	Veličina	Jednotka
$a$	Zrychlení	$\text{m/s}^2$
$d_s$	Jmenovitý průměr šroubu	$\text{m}$
$E_m$	Úhlové zrychlení hřídele motoru	$\text{rad/s}^2$
$f_1$	Součinitel tření ve valivém vedení osy	-
$f_2$	Ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukováný na poloměr šroubu	-
$F_a$	Maximální síla působící na osu při největší zátěži	$\text{N}$
$g$	Tíhové zrychlení	$\text{m/s}^2$
$i$	Převodový poměr	-
$J_{kš}$	Moment setrvačnosti kuličkového šroubu	$\text{kg/m}^2$
$J_{\text{mot}}$	Moment setrvačnosti rotoru	$\text{kg/m}^2$
$J_{\text{př}1}$	Moment setrvačnosti převodového kola na motoru	$\text{kg/m}^2$
$J_{\text{př}2}$	Moment setrvačnosti převodového kola na kuličkovém šroubu	$\text{kg/m}^2$
$J_m$	Redukovaný moment setrvačnosti	$\text{kg/m}^2$
$J_{\text{rhm}}$	Celkový moment setrvačnosti soustavy redukováný na hřídel motoru	$\text{kg/m}^2$
$m_x$	Maximální hmotnost přesouvaná osou X	$\text{kg}$
$M_{\text{gt}}$	Moment od třecích sil přesouvaných hmot	$\text{Nm}$
$M_{\text{ksm}}$	Ztrátový moment v ose kuličkového šroubu	$\text{Nm}$
$M_m$	Moment motoru	$\text{Nm}$
$M_{\text{zdrhm}}$	Celkový moment motoru z hlediska dynamiky	$\text{Nm}$
$s$	Stoupání kuličkového šroubu	$\text{m}$
$s_a$	Vzdálenost, na které bude dosaženo maximální posuvové rychlosti	$\text{mm}$
$s_m$	Posuv osy vztažený na otáčku motoru	$\text{mm}$
$t_p$	Doba rozběhu na maximální rychlost	$\text{s}$
$v_p$	Maximální posuvová rychlost	$\text{m/s}$
$v_{\text{max}}$	Maximální rychlost motoru	$\text{m/s}$
$w_{\text{max}}$	Maximální rychlost otáčení kroucího motoru	$\text{ot/min}$
$\eta_k$	Účinnost kluzného vedení	-
$\eta_l$	Účinnost ložisek uložení kuličkového šroubu	-
$\eta_p$	Účinnost převodu	-
$\eta_s$	Účinnost kuličkového šroubu	-

### 12.3 Seznam tabulek

TAB. 1) ZÁKLADNÍ PARAMETRY FRÉZKY VMC 100 [29].....	36
TAB. 2) HODNOTY PRO VÝPOČET POTŘEBNÉHO KROUTÍČÍHO MOMENTU. ....	38
TAB. 3) VÝBĚR MOTORŮ.....	43
TAB. 4) SEZNAM KOMPONENTŮ PRO VARIANTU SERVOPOHONU 1,35 NM 44	
TAB. 5) SEZNAM KOMPONENTŮ PRO VARIANTU SERVOPOHONU 2,4 NM44	
TAB. 6) VARIANTY KROKOVÝCH MOTORŮ SE ZPĚTNOU VAZBOU.....	45
TAB. 7) SEZNAM KOMPONENTŮ PRO VARIANTU KROKOVÉHO MOTORU 1,53 NM SE ZPĚTNOU VAZBOU.....	45
TAB. 8) SEZNAM KOMPONENTŮ PRO VARIANTU KROKOVÉHO MOTORU 3,3 NM SE ZPĚTNOU VAZBOU.....	45
TAB. 9) KROKOVÉ MOTORY BEZ ZPĚTNÉ VAZBY .....	46
TAB. 10) SEZNAM KOMPONENTŮ KROKOVÉHO MOTORU 1,5 NM BEZ ZPĚTNÉ VAZBY .....	46
TAB. 11) SEZNAM KOMPONENTŮ KROKOVÉHO MOTORU 3,3 NM BEZ ZPĚTNÉ VAZBY .....	46
TAB. 12) TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT .....	48
TAB. 13) VÝBĚR ZE ZÁKLADNÍCH DATOVÝCH TYPŮ .....	57
TAB. 14) HODNOTY PRO VÝPOČET SCALING FACTOR NUMERATORU ...	72

### 12.4 Seznam obrázků

OBR. 1) CNC FRÉZKA MCV 800 QUICK OD FIRMY KOVOSVIT MAS [3] ...	18
OBR. 2) PŘÍKLAD 2D SOUVISLÉHO ŘÍZENÍ. [6].....	20
OBR. 3) PŘÍKLAD 2.5D SOUVISLÉHO ŘÍZENÍ. [6].....	20
OBR. 4) PŘÍKLAD 3D SOUVISLÉHO ŘÍZENÍ. [6].....	20
OBR. 5) KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ KROKOVÉHO MOTORU S AXIÁLNĚ POLARIZOVANÝM MAGNETEM (HYBRIDNÍ KONSTRUKCE). [8].....	21
OBR. 6) UNIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ KROKOVÉHO MOTORU. [10] .....	22
OBR. 7) BIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ KROKOVÉHO MOTORU [10] .....	22
OBR. 8) SÉRIOVÉ A PARALELNÍ BIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ KROKOVÉHO MOTORU. [11].....	23
OBR. 9) MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA KROKOVÉHO MOTORU SX23-2727 OD FIRMY MICROCON. [11] .....	23
OBR. 10) PŘÍKLAD SYNCHRONNÍCH SERVOMOTORŮ ŘADY 1FT6 OD FIRMY SIEMENS. [14].....	24
OBR. 11) NEPŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ [4] .....	25

OBR. 12) PŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ [4].....	25
OBR. 13) INKREMENTÁLNÍ ROTAČNÍ ENKODÉR (VLEVO) [17], FOTOELEKTRICKÉHO MĚŘENÍ POLOHY POMOCÍ PRAVÍTKA (VPRAVO). [18] .....	26
OBR. 14) BLOKOVÉ SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE ZJEDNODUŠENÉ (NA PŘÍKLADU SOUSTRUHU) PŘEVZATO [19].....	27
OBR. 15) URČENÍ SMĚRU SOUŘADNICOVÉHO SYSTÉMU STROJE POMOCÍ PRAVIDLA PRAVÉ RUKY [20]. .....	28
OBR. 16) SOUVISLOSTI MEZI SOUŘADNÝMI SYSTÉMY. [20].....	29
OBR. 17) PARAMETRY FRÉZY [20] .....	30
OBR. 18) ZNÁZORNĚNÍ EKVIDISTANTNÍ DRÁHY OD KONTURY [20] .....	30
OBR. 19) VÝBĚR PIKTOGRAMŮ POUŽÍVANÝCH PŘI OVLÁDÁNÍ A PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ. [19] .....	31
OBR. 20) STRUKTURA BLOKU PROGRAMU. [21] .....	32
OBR. 21) ŘÍDÍCÍ PANEL SINUMERIK 828D [24] [23].....	33
OBR. 22) OVLÁDACÍ PANEL FANUC 0I [26] .....	33
OBR. 23) ŘÍDÍCÍ PANEL TNC 640 [28] .....	34
OBR. 24) CELKOVÉ ROZMĚRY FRÉZKY EMCO VMC 100. [29] .....	34
OBR. 25) FOTOGRAFIE FRÉZKY EMCO VMC 100 DETAIL. ....	35
OBR. 26) PRŮBĚH KROUTÍCÍHO MOMENTU V ZÁVISLOSTI NA OTÁČKÁCH MOTOR RDM 596 2,7 A 70 V. [30].....	37
OBR. 27) ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTA SERVOZESILOVAČE EL7221-9014. ....	44
OBR. 28) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NÁKLADŮ NA JEDNOTLIVÉ VARIANTY .....	49
OBR. 29) PRŮMYSLOVÝ POČÍTAČ BECKHOFF C6015-0010. [31] .....	50
OBR. 30) COUPLER EK1100 ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTY. [31].....	51
OBR. 31) OVLADAČ KROKOVÉHO MOTORU EL7047 ZAPOJENÍ. [31] [32].	51
OBR. 32) ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTA EL2521 ZAPOJENÍ. [31] [33].....	52
OBR. 33) ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTA EL1008. [31].....	52
OBR. 34) ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTA DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ EL2008. [31] .....	53
OBR. 35) MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA KROKOVÉHO MOTORU SE ZPĚTNOU VAZBOU S OZNAČENÍM AS2022-0H10. [31] .....	53
OBR. 36) ROZŠÍŘUJÍCÍ KARTA EL9576 S BRZDNÝM ODPOREM. [31].....	54
OBR. 37) PRŮMYSLOVÝ SPÍNANÝ NAPÁJECÍ ZDROJ NA DIN LIŠTU 30 W DR30. [35] .....	54
OBR. 38) DC SERVOZESILOVAČ DG4S-16035. [33] .....	55
OBR. 39) RELÉ OD FIRMY FINDER V PATICI [37] .....	56

OBR. 40) DOTYKOVÝ MONITOR DELL P2418HT (VLEVO), KONTROLNÍ PANEL BECKHOFF CP79XX (VPRAVO). [38] [31].....	56
OBR. 41) UKÁZKA ST PRO OBNOVU INFORMAČNÍHO PANELU.....	59
OBR. 42) PŘÍKLAD POUŽITÍ FBD PRO RESETOVÁNÍ OVLADAČŮ DP. ....	59
OBR. 43) VIZUALIZACE ZAPÍNÁNÍ POSUVŮ OS A VŘETENE.....	60
OBR. 44) MANUÁLNÍ OVLÁDÁNÍ POHYBU. ....	62
OBR. 45) PANEL ABSOLUTNÍHO POHYBU S TLAČÍTKY PRO SIMULACI INDUKČNÍCH SNÍMAČŮ. ....	63
OBR. 46) ZÁVISLOST RYCHLOSTI NA ČASE S JEDNOTLIVÝMI BODY REFEROVÁNÍ. [31] .....	64
OBR. 47) PANELE PRO OVLÁDÁNÍ REFEROVÁNÍ OS A REFEROVÁNÍ ZÁSOBNÍKU NÁSTROJŮ. ....	64
OBR. 48) VÝVOJOVÝ DIAGRAM VÝMĚNY NÁSTROJE.....	66
OBR. 49) PANEL NC ŘÍZENÍ. ....	67
OBR. 50) PANEL KOREKCE NÁSTROJE .....	68
OBR. 51) PANEL POSUNUTÍ SS.....	69
OBR. 52) ZOBRAZENÍ PANELU SOUŘADNIC. ....	70
OBR. 53) CELKOVÁ VIZUALIZACE. ....	71
OBR. 54) PARAMETRY OSY X.....	72
OBR. 55) ZNÁZORNĚNÍ PŘIPOJENÍ I/O DO ROZŠÍŘUJÍCÍCH KARET EL1008 A EL2008.....	73



## 13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Elektrické schéma zapojení

Příloha č.2: Zdrojový kód programu