



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## NÁVRH PLC PROGRAMU PRO POHON S LINEÁRNÍM MOTOREM

DESIGN OF PLC PROGRAM FOR LINEAR MOTOR DRIVE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Kolbinger

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radomír Pruša

BRNO 2021

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Ondřej Kolbinger</b>
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	<b>Ing. Radomír Pruša</b>
Akademický rok:	2020/21

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 bakalářské práce:

## Návrh PLC programu pro pohon s lineárním motorem

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem bakalářské práce je návrh PLC programu pro pohon s lineárním synchronním motorem. Předpokládanou aplikací je využití pohonu v automatickém regálovém zakladači. Motor bude napájen prostřednictvím měniče Control Techniques M701 s integrovaným PLC. Součástí práce bude rešerše na téma lineárních motorů, programovatelných logických automatů a požadavků kladených na regálové zakladače.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše na téma lineární motory, programovatelné logické automaty a požadavky kladené na regálové zakladače.

Seznámení se softwarem Machine Control a Connect.

Realizace PLC programu pro zadanou aplikaci s lineárním motorem.

Měření elektrických a mechanických poměrů v pohonu řízeném navrženým PLC programem.

### Seznam doporučené literatury:

DRURY, Bill. The Control Techniques Drivers and Controls Handbook. 35. London: The Institution of Electrical Engineers, 2001. ISBN 0852967934.

KNOBLOCH, Jan. Koncepce pracoviště pro měření lineárních motorů. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Bohumil Klíma.

Uživatelská příručka: Unidrive M700, Unidrive M701, Unidrive M702. 2. dopl. vyd. Control Techniques Ltd, 2016.

ČSN 73 1401. Regálové zakladače: Bezpečnostní požadavky. 2009.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Tato práce se ve své první části zabývá studiem různých druhů lineárních motorů a principem jejich fungování. Další část se zabývá programovatelnými logickými automaty, jejich složením a možnostmi programovacích jazyků. Mimo to se zabývá požadavky, které jsou na regálové zakladače kladeny. S tím souvisí i část, která se zabývá jednotlivými částmi zakladačů.

Druhá část této práce se poté zaměřuje na praktický návrh dvou PLC programů pro pohon s lineárním motorem a způsob, jakým byly řešeny části programu. V souvislosti s tím zde vysvětluji dílčí části sestavy, na kterých byl jeden z programů odzkoušen a popisuji zde práce s Unidrive M Connectem a Machine Control Studiem.

## **Abstract**

In its first part, this work deals with the study of various types of linear motors and the principle of their operation. The next part deals with programmable logic controllers, their composition and the possibilities of programming languages. In addition, it deals with the requirements that are placed on shelf stackers. Related to this is the part that deals with the individual parts of the stackers.

The second part of this work then focuses on the practical design of two PLC programs for driving with a linear motor and the way in which they were solved by parts of the program. In connection with this, I explain the partial parts of the assembly on which one of the programs was tested and describe the work with Unidrive M Connect and Machine Control Studio.

## **Klíčová slova**

Lineární motory, PLC, regálový zakladač, PLC program, funkční blokové schéma, příčkový diagram, měnič M701, Control Techniques

## **Keywords**

Linear motors, PLC, shelf stacker, PLC program, functional block diagram, ladder diagram, M701 inverter, Control Techniques

## **Bibliografická citace**

KOLBINGER, O. *Návrh PLC programu pro pohon s lineárním motorem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2021. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radomír Pruša.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh PLC programu pro pohon s lineárním motorem“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21. května 2021

.....  
Ondřej Kolbinger

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Radomíru Prušovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Lineární motory</b> .....	<b>8</b>
2.1. Popis .....	8
2.2. Rozdělení dle použité energie.....	8
2.3. Pneumatické lineární motory.....	8
2.4. Hydraulický lineární motor .....	10
2.5. Elektrické lineární motory .....	10
2.6. Mechanický lineární pohyb .....	13
<b>3. Programovatelný logický automat</b> .....	<b>15</b>
3.1. Popis .....	15
3.2. Rozdělení dle konstrukce .....	15
3.3. Moduly programovatelného automatu.....	17
3.4. Programovací jazyky pro PLC .....	18
3.5. Rozdělení dle normy IEC 61131- 3 .....	19
<b>4. Regálové zakladače</b> .....	<b>22</b>
4.1. Popis .....	22
4.2. Požadavky regálových zakladačů .....	23
4.3. Bezpečnostní požadavky .....	23
4.4. Rozdělení zakladačů podle konstrukce .....	23
4.5. Rozdělení zakladačů podle stupňů automatizace .....	24
4.6. Hlavní části zakladačů.....	25
4.6.1. Pojezdové ústrojí.....	25
4.6.2. Zakládací zařízení.....	26
4.6.3. Zdvihací zařízení .....	26
4.6.4. Nosný sloup .....	26
4.7. Další části regálových zakladačů .....	27
4.8. Zkoušky regálových zakladačů .....	28
<b>5. Praktická část</b> .....	<b>30</b>
5.1. Stručná charakteristika sestavy .....	30
5.1.1. Unidrive M701 .....	30



5.1.2. Brzdňý rezistor RBR 2.0 .....	32
5.1.3. Polohovací systém DLM 160.....	32
5.2. Popis zadané aplikace.....	33
5.3. Přípravy spojené s programováním .....	34
5.4. První program.....	35
5.4.1. Polohování .....	35
5.4.2. Optimalizace .....	40
5.5. Měření.....	41
5.6. Druhý program .....	44
<b>6. Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>7. Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>46</b>
<b>8. Seznam obrázků .....</b>	<b>48</b>

# 1. Úvod

Dnešní doba je charakteristická rychlým způsobem života. Všichni jsme si již zvykli na dostupnost veškerého sortimentu a tak si nedokážeme představit, že bychom museli na nějaký produkt čekat několik dnů, týdnů či měsíců. Dostupnost sortimentů je však závislá na výrobě a pěstování. Západní způsob života, který jsme si osvojili, se právě vyznačuje získáváním těchto sortimentů převážně z dovozu ze vzdálených lokací. Tyto produkty tak cestují z velkých vzdáleností a skladují se na nejrůznějších místech, dokud nedoputují do jejich cílové destinace. Mimo těchto skladů, kde se v průběhu cesty skladují, se nacházejí i v lokálních skladech, kde se sortiment skladuje ve velkém množství k zajištění dostatečného zásobování, aby nedošlo k možnému nedostatku. Všechna tato místa se pak snaží skladování co možná nejvíce zjednodušit, zefektivnit a zrychlit. Z tohoto důvodu se v dnešní době rozšířilo využívání regálových zakladačů, především pak těch automatizovaných. Tato práce se proto zabývá lineárními motory, které slouží k zajištění pohybů těchto zakladačů. Dále programovatelnými logickými automaty, které ovládají řízení zakladačů a požadavky, které jsou na ně kladeny ať už jsou bezpečnostní, konstrukční či jiné. Ze získaných znalostí těchto tří teoretických okruhů je vytvořena reálná aplikace schopná ovládat regálový zakladač. Tato aplikace byla prakticky odzkoušena.

## 2. Lineární motory

### 2.1. Popis

Lineární motory jsou zařízení sloužící k přeměně určité energie k mechanickému lineárnímu posuvu. Tento posuv však nesmí být prováděn pomocí vloženého převodu ať už ozubeného kola, šnekového převodu ani jiného. V takovém případě by se totiž nejednalo o lineární motor, ale o rotační (lineární motor nepřímý). Výhodou absence těchto převodů je, že dochází při aplikaci LM v praxi ke zvýšení tuhosti, přesnosti celé soustavy a zvýšení životnosti motorů. Díky vzniku těchto zařízení se dosáhlo zlepšení přesnosti, plynulosti a vysoké dynamiky pohybů.

Pohyb LM bývá zpravidla přímočarý či po zakřiveném směru pohybu. Energie, která se k této přeměně využívá, je tradičně elektrická, hydraulická, pneumatická či mechanická.

### 2.2. Rozdělení dle použité energie

LM můžeme rozdělit do čtyř základních skupin podle původně uložené energie a to: [2]

- Pneumatické -Jednočinné
  - Dvojčinné
- Hydraulické
- Elektrické
  - Asynchronní
  - Synchronní
    - S příčným magnetickým tokem
    - Tubulární
    - Reluktanční
  - Piezoelektrické
  - Oscilační
  - Planární
- Mechanický pohyb

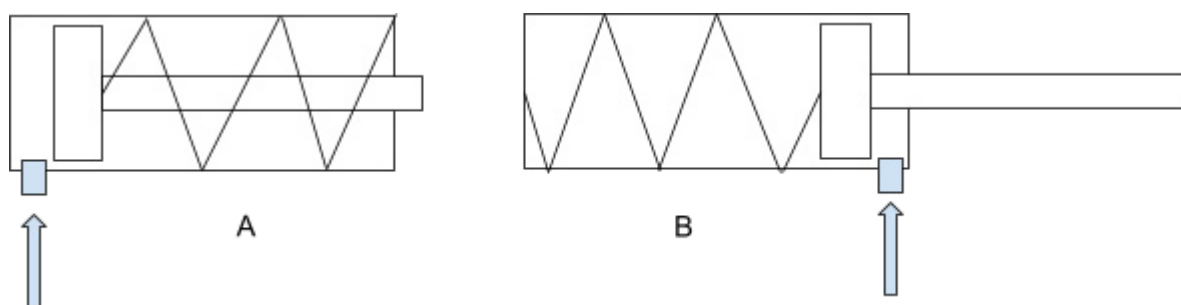
### 2.3. Pneumatické lineární motory

Jedná se o motory, které využívají stlačeného vzduchu vháněného do pneumatického válce. Ty mohou mít různé velikosti a tvary podle potřebných požadavků. Mezi hlavní přednosti pak patří nízké náklady na provoz, možnosti využití v čistých prostředích a místech s výskytem hořlavých látek. V praxi pak rozlišujeme PLM do dvou základních typů.

### Jednočinné válce (jednosměrný)

Pro lepší pochopení principu jednočinného pneumatického válce je potřeba popsat jeho několik základních částí. Skládá se z obalu, ve kterém se nachází přívod vzduchu. Uvnitř je umístěna pístnice a pružina. Principiálně se pak přívodem vzduchu do obalu vhání vzduch o určitém regulovaném tlaku. Ten musí být dostatečně silný, aby po zatlačení do pístnice byl schopen překonat odpor, který mu je kladen z druhé strany v působení pružiny. Při dostatečně vysokém tlaku dochází k vysunutí pístnice.

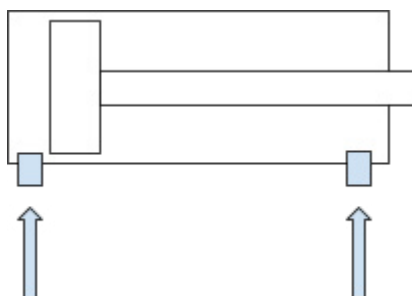
Jednočinné válce se vyrábějí ve dvou základních podobách a to se zasunutou pístnicí obr. A a vysunutou pístnicí obr B.



Obr. 2.1: Schématické značení jednočinného pístu

### Dvojčinné válce (obousměrný)

V porovnání s jednočinným válcem zůstává konstrukčně stejná pouze pístnice. Pružina zde není a v obalu se nacházejí dva vstupy. Principiálně pak dvojčinný válec funguje tak, že na jednu jeho stranu se přivede tlak a pístnice se vysune na druhou stranu, to samé pak platí i pro opačnou stranu. Podobu dvojčinného válce lze pozorovat níže.



Obrázek 2.2: Schématické značení dvoučinného pístu

## 2.4. Hydraulický lineární motor

Tento motor se oproti dvojčinnému pneumatickému válci o moc neliší. V rámci principu funkce je totiž totožný. Liší se pouze v tom, že se zde využívá stlačené tekutiny. Díky tomu zde dochází k práci za vysokých tlaků a tak tomu musí být konstrukce přizpůsobena. Mezi přednosti těchto motorů patří vysoká přesnost pohybu díky minimální stlačitelnosti kapaliny a možnost přenášení těžkých břemen.

## 2.5. Elektrické lineární motory

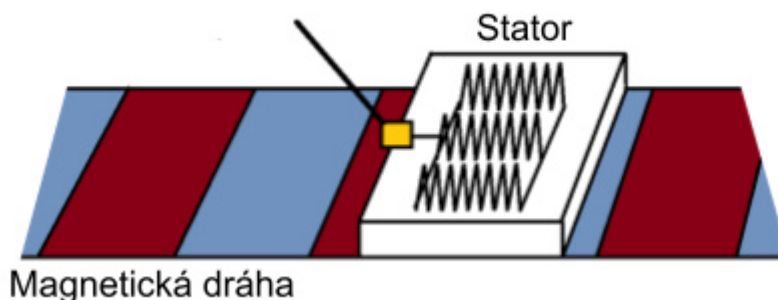
Jedná se skupinu motorů, jejichž použitá energie je získávána z elektřiny. Ve své podstatě se jedná o obdobu rotačních motorů. Rotační motor je složený ze dvou částí a to rotoru či jezdce (primární části) a statoru nebo lože (sekundární části). Tyto motory pak mívají rotační tvar. Pokud je tento motor rozdělen a natažen do roviny, dochází tak ke vzniku lineárního motoru.

### Asynchronní lineární motory

Motory se skládají ze dvou hlavních částí. První je tvořena z primární složky, a to z vinutí. Druhá část je sekundární a skládá se z kotvy, která je řešena způsobem klece nakrátko. Tuto klec pak tvoří vinutí umístěné do drážek, případně měděný, či hliníkový pás umístěný na ocelové podložce. Poté, co se indukuje proud v sekundární části, dochází k působení sil mezi primární a sekundární částí. Mechanická rychlost musí být buď nižší nebo naopak vyšší oproti rychlosti magnetického pole[1].

### Synchronní lineární motory

Mechanický pohyb těchto motorů je stejný jako pohyb magnetického pole. Z toho vyplývá, že i rychlost mechanická je totožná s posuvnou rychlostí magnetického pole.



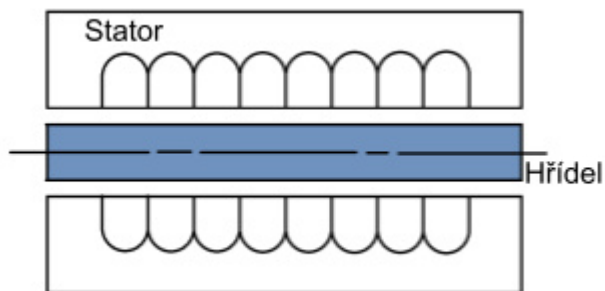
Obrázek 2.3: Nákres Synchronního lineárního motoru

### Synchronní lineární motory s příčným magnetickým tokem

Principiálně pracují stejně jako synchronní rotační motory. Skládají se ze statoru s vinutím a hladkého rotoru z magnetů, nebo elektromagnetů. Tyto magnety pak bývají neohmové a sestávají z kombinace tří materiálů železa, boru a neodymu. Po přivedení proudu na stator dochází ke vzniku magnetického pole, které začne silově působit na rotor a dochází k pohybu. Možné využití těchto motorů pro jejich vysoký výkon je například ve strojírenství jako pohony pro osy CNC strojů [2].

### Tubulární lineární motory

Primární část těchto motorů bývá obtočená kolem sekundární části a skládá se z nemagnetické oceli, v jejíž drážkách bývá umístěno třífázové vinutí. Sekundární část se skládá z tyče uvnitř s magnetem. Mezi primární a sekundární částí se nachází kluzné ložisko. Konstrukčně pak může být primární část pohyblivá a sekundární pevná, ale i naopak. Díky svému symetrickému tvaru okolo středové osy, rovnoběžné se směrem posuvné síly, dochází k vykompenzování sil mezi primární a sekundární částí a tak nedochází k jevu zvanému nerovnoměrnost chodu (Cogging) [1].



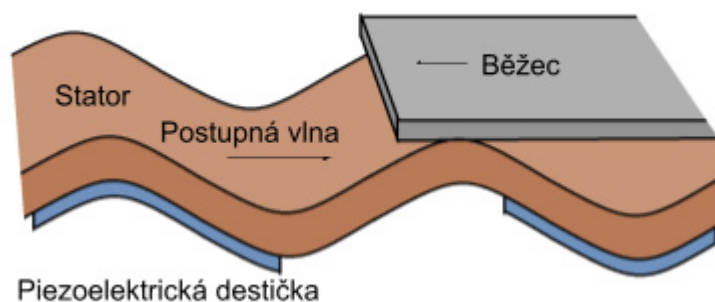
Obrázek 2.4: Nákres Tubulární lineární motor

### Reluktanční lineární motory

Tyto typy lineárních motorů se skládají z permanentních magnetů a vinutí současně na primární části. Sekundární část se skládá pouze z feromagnetického materiálu. Díky absenci magnetu na sekundární části se jedná o levnější motor. Princip motoru je založen na jevu s názvem magnetická reluktance (magnetický odpor), kdy pohyb motoru vzniká pomocí snahy reluktanci minimalizovat, tzn. že se motor snaží dostat do polohy s nejmenším odporem [2], [3].

### Piezelektrické lineární motory

Jak již název napovídá piezelektrické lineární motory jsou založeny na piezelektrickém jevu. Ten říká, že pokud se deformuje piezelektrická látka jako je křemen nebo křišťál bez středu symetrie, indikuje se v něm elektrické napětí. Toho se poté využívá k výrobě vícevrstvé struktury skládající se z této piezelektrické látky, na kterou se přivede napětí a dochází k její deformaci. Díky jejímu zkracování a prodlužování dochází k vlnění o určité frekvenci. Tato struktura se dále připevňuje na poddajný materiál např. měď, který obkresluje tvar této struktury a slouží jako stator. Na statoru je umístěn jezdec, který pak na statoru klouže jako surf na vlnách. Díky svým vlastnostem je schopen se tvarově adaptovat. Je vhodný pro pracoviště, kde je potřeba využít přesných malých kroků (nejmenší krok do 50 pikometrů) jako jsou obory lékařství, robotika aj. Slabinou těchto motorů je omezené paušální použití vzhledem k jejich teplotní závislosti [4].



Obrázek 2.5: Princip funkce Piezelektrický lineární motoru [4]

### Oscilační lineární motory

Součástí těchto motorů je lineární oscilátor s permanentními magnety. Je umístěn na základovém rámu v hybném uložení. Součástí motoru je stator, který je na rámu umístěn také. Stator se skládá z elektromagnetů. Po přivedení napětí do elektromagnetu dochází v kombinaci s permanentními magnety ke vzniku elektrické síly, která pohybuje s oscilátorem v přímém směru. Nevýhodou této jednoduché verze je, že při prudkém zatížení dochází ke snížení amplitudy oscilátoru. Řešením tohoto problému pak bývá přidání pružiny, popř. zpětnovazební řízení [1].

### **Planární lineární motory**

Jedná se o krokový typ motorů, který již v sobě uchovává integrovaný systém pro odměřování okamžité polohy jezdce. Jezdec nemá s magnetickou dráhou žádný mechanický styk díky pohybu jezdce po vzduchovém polštáři. V praxi bývá většinou montovaný vzhůru nohama. Využívá se pak například v elektrotechnice [1].

## **2.6. Mechanický lineární pohyb**

Kromě předešlých lineárních motorů existuje i řada jiných způsobů jak tohoto lineárního pohybu dosáhnout. Nejprve je ale potřeba si najít způsob, kterým je možno lineární pohyb zajistit.

### **Rozdělení lineárního pohybu dle konstrukce:**

Zajištění lineárního pohybu můžeme rozdělit podle konstrukce do dvou skupin.

- Přímé
- Nepřímé

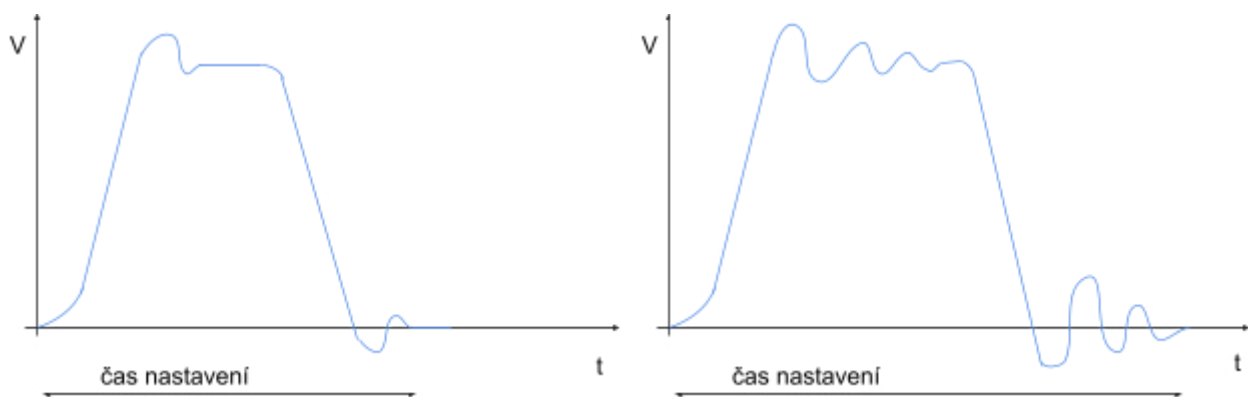
### **Přímý lineární pohyb**

Tento typ pohybu je zajištěn bez využití mechanického převodu a získává se pomocí lineárních motorů výše rozepsaných a popsanych.

### **Nepřímý lineární pohyb**

Jde o přesný opak přímého lineárního pohybu. K jeho získání se využívá mechanického převodu. Nepřímý lineární pohyb pak provádí rotační motory. Jelikož se tato práce nezabývá převody, jsou níže vypsány pouze možné způsoby převodů a již je není třeba hlouběji popisovat. Hlavní předností pak tohoto pohybu je možnost převodu pro potřebnou rychlost a momentu síly. Nevýhody jsou pak nižší životnost, vibrace a omezení na rychlost, teplotu a délku vzhledem k použitému převodu.





Obrázek 2.6: a) Průběh přímého lineárního pohybu  
b) Nepřímého lineárního pohybu

### Převodové mechanismy

K zajištění nepřímého lineárního pohybu se využívá pěti základních převodových mechanismů.

- Řemenem
- Lanem
- Ozubeným hřebenem
- Šrouby
- Vačkami

## 3. Programovatelný logický automat

### 3.1. Popis

Programovatelný logický automat neboli PLC z anglického programmable logic controller, je v průmyslu jakýsi základní druh počítače, který lze programovat a provádět konkrétní funkce. Díky PLC byla velká část hardwaru jako jsou konvenční relé řídicí obvody nahrazena tímto zařízením. Mimo spínání relé je schopen úkonů jako čítač, časovač, zpracovávající analogových signálů, dále je schopen srovnávat hodnoty či je vypočítat. Jedná se o zařízení s Real-Time systémem, v překladu systémem v reálném čase, kde jsou výstupy závislé na vstupních podmínkách. Mezi přednosti tohoto zařízení se dá považovat jeho snadné programování, rychlé odezvy, jednoduchá instalace, možnost připojení k síti, vysoká spolehlivost, rychlost ovládání, odolnost vůči elektrickému šumu, nárazům, vibracím, velký počet vstupů a výstupů. V případě výpadku proudu jsou programy, případně jejich aktuální krok, uchovány v paměti a to za pomoci vestavěné baterie, případně jiné energeticky nezávislé paměti. PLC jsou v dnešní době nejpoužívanější technologie řízení průmyslových procesů [5].

### 3.2. Rozdělení dle konstrukce:

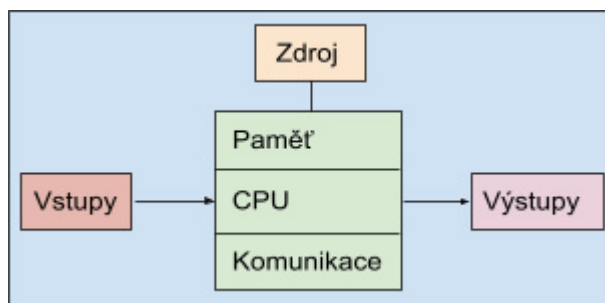
Z konstrukčního pohledu lze PLC rozdělit do dvou skupin.

- Kompaktní
- Modulární

#### **Kompaktní systém**

Tomuto systému se také říká Fixed I/O. Jedná se o typický systém u malých PLC. Zařízení tvoří jakýsi celek, jehož jednotlivé části nelze odjímat. Tímto celkem je myšleno vstupy a výstupy PLC s pevným počtem, které lze rozšířit nákupem dalších jednotky. Součástí celku je také procesor neboli CPU, podpora komunikace, paměť a zdroj.

Mezi další přednosti patří nižší pořizovací cena na úkor omezenějšího použití [5].

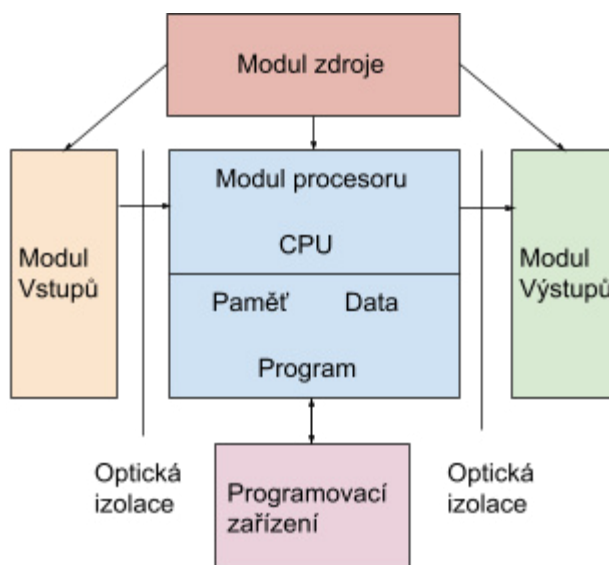


Obrázek 3.1 Nákres vnitřního uspořádání kompaktního PLC [5]

### Modulární systém

Tomuto systému se také říká Modular I/O. Typicky se pak používá pro velká PLC. Hlavní předností je flexibilita použití a možnost jednotlivé komponenty nahradit jinými. Například při rozhodnutí ovládat větší počet výstupů než doposud, při zachování stávajících vstupů, je na příklad třeba nahradit stávající zdroj silnějším a na výstup připojit sběrnici s potřebným počtem výstupů. Při této změně však může být zachována sběrnice vstupů. U paměti a CPU pak bude záležet na jejich dostatečném výkonu. Tímto způsobem se pak dají jednotlivé součásti stále používat bez nutnosti nákupu nového celku.

Jednotlivé součásti nebo též moduly bývají stejné jako u kompaktních PLC. Systém CPU, paměti, podpora komunikace, zdroj popř. speciální modul [5].



Obrázek 3.2: Nákres vnitřního uspořádání modulárního PLC [5]

### 3.3. Moduly programovatelného automatu

#### **Napájecí zdroj**

Napájecí zdroj dodává do ostatních modulů stejnosměrný výkon. U velkých PLC pak bývá standardní zdroj nedostatečný a bývá zajišťován externím střídavým zdrojem nebo externím stejnosměrným zdrojem. Pro malé spotřebiče pak může sloužit PLC současně jako jeho zdroj.

#### **Paměť**

Paměť ukládá program a informace o všech vstupech a výstupech. Informace o vstupech ukládá do adresářů. Paměti PLC zařízení můžeme rozdělit do pěti skupin [6].

- **ROM** - Zkratka pochází z read-only memory. Paměť lze pouze číst, její obsah nelze odstranit ani změnit. Bývá vytvořená výrobcem.
- **EPROM** - Zkratka pochází z erasable programmable read-only memory. Obsah paměti lze celý smazat za pomoci UV světla a znovu přeprogramovat. Neztrácí svou paměť při výpadku proudu.
- **REEPROM** - Zkratka pochází z reprogrammable erasable read-only memory. Jedná se o přeprogramovatelnou paměť jen pro čtení. Stejně tak jako u EPROMu lze obsah smazat UV světlem.
- **EEPROM** - Zkratka pochází z electrically erasable programmable read-only memory. Paměť lze elektronicky smazat, stejně tak je možné elektronicky zapisovat. Energeticky nezávislá.
- **EAPROM** - Zkratka pochází z electrically alterable programmable read-only memory. Jeho jednotlivé bity lze v průběhu systémových operací přeprogramovat. Energeticky nezávislá.

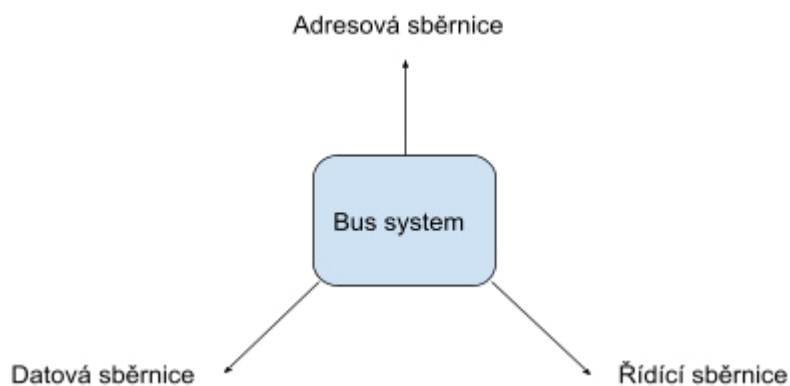
#### **Centrální zpracovatelská jednotka**

Ve zkratce CPU je mozek samého PLC. Bývá složen z mikroprocesoru pro implementaci logiky a řízení komunikace mezi jednotlivými moduly. Na základě zjištění napětí na vstupech zpracuje program v paměti a vysílá signál na odpovídající výstupy. Tento cyklus se opakuje, dokud je PLC spuštěno.

#### **Bus systém**

Je systém sběrnice. Skupina linek sloužící pro přenos signálů. Mezi procesorem a vstupními a výstupními moduly se přenáší signál pomocí procesní sběrnice. Ta se skládá ze třech paralelních linek: [6]

- Pomocí adresní sběrnice systém adresuje adresy na jednotlivé moduly.
- Pomocí datové sběrnice systém přenáší data, např. ze vstupu do výstupního modulu.
- Na řídicí sběrnici systém přenáší signály pro řízení a sledování funkčního cyklu v programovatelném regulátoru.



Obrázek 3.3: Nákres BUS systému [6]

#### **Vstupní a výstupní moduly**

Vstupní moduly slouží k připojení vstupních signálů, které procesor zpracuje. Výstupní modul slouží k vyvedení signálu z PLC na základě vstupů k řízení, na příklad motorů.

### **3.4. Programovací jazyky pro PLC**

Na počátku vzniku prvních PLC zařízení se pro jejich programování využívalo jazyku Ladder Diagramu zkráceně LD. Pro jednoduché úkony byl vhodný a na svou dobu dostatečný. Vlivem vývoje a inovací však začal být tento jazyk nedostatečný. Současně začala vznikat nová PLC s jinými potřebnými funkcemi. Pro některé tyto funkce nebyl LD dostatečný a tak vznikla potřeba začít využívat nových jazyků. Spousta výrobců si tak začala vymýšlet své vlastní programovací jazyky a tak došlo k problému, kdy se na trhu objevilo velké množství nových jazyků. Ty začaly představovat nový problém pro softwarové vývojáře, softwarové údržbáře i uživatele systému a tak došlo k rozhodnutí, že by měly jazyky podléhat nějaké normě. Touto normou byla IEC 61131- 3, která v roce 1993 rozděluje jazyky na 5 základních skupin [7].

### 3.5. Rozdělení dle normy IEC 61131- 3:

- Jazyk seznamu instrukcí IL
- Jazyk strukturovaného textu ST
- Jazyk příčného diagramu LD
- Jazyk funkčního blokového schématu FBD
- Jazyk sekvenční funkční diagram SFC

#### Jazyk seznamu instrukcí IL

Instruction List ve zkratce IL spadá do skupiny textových jazyků. Také se mu říká jazyk pokynů nebo povelů. Svou strukturou se podobá assembleru. Bývá považovat za základní jazyk, do kterého se ostatní jazyky konvertují, ale má to své omezení díky vhodnosti pro malá PLC. Mezi jeho nevýhody patří obtížná čitelnost pro případné ladění. Kód jazyku se pak skládá z jednotlivých instrukcí na každém řádku zvlášť. Každá instrukce se pak skládá z operátoru a jednoho nebo více operandů. Instrukce pak uloží hodnotu do paměti, popř. pokud použije hodnotu již uloženou, přepíše ji a uloží upravenou. Existují také operátory, které porovnávají hodnoty proměnných.

Příklad programu:

```
0    LD    X0
1    OUT   C0
      K5
3    LD    C0
4    OUT   Y0
5    LD    X1
6    RST   C0
7    END
```

#### Jazyk strukturovaného textu ST

Structured text ve zkratce ST spadá do skupiny textových jazyků. Jedná se o jazyk vyšší úrovně s podobností s jazykem PASCAL a C. Podobné jsou pouze z toho důvodu, že ST se zaměřuje na řešení problému řízení v reálném čase. Oproti IL není potřeba jednotlivé instrukce oddělovat řádkem nýbrž středníkem, tzn. že se může na jednom řádku vyskytovat více instrukcí. Předností tohoto jazyku je možnost definovat komplexní funkční bloky a ty pak použít v libovolném programovacím jazyku [7].

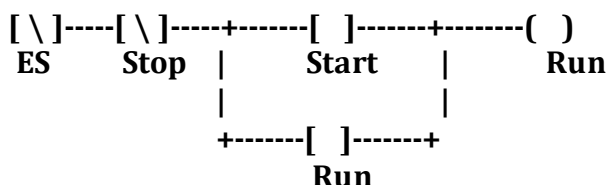
Příklad programu:

```
PROGRAM stexample
VAR
x : BOOL;
END_VAR
x := TRUE;
REPEAT
x := FALSE;
UNTIL x := FALSE;
END_REPEAT;
END_PROGRAM;
```

### Jazyk příčkového diagramu LD

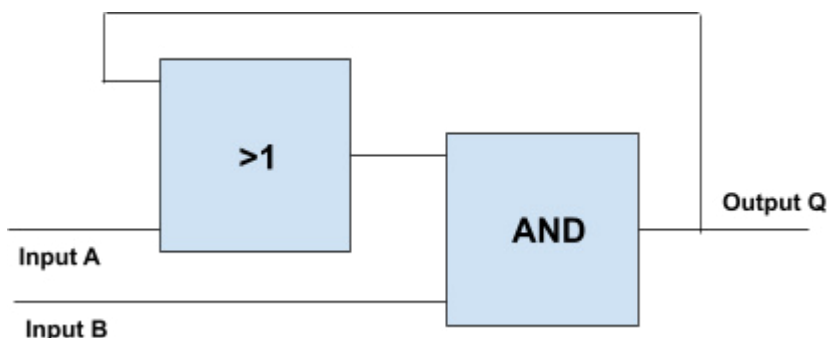
Ladder Diagram ve zkratce LD spadá do skupiny grafických jazyků. Jejich podoba pochází z grafické reprezentace reléové logiky. Program se pak skládá z propojené sítě prvků. Program má na levé a pravé straně svislé čáry s názvem napájecí sběrnice. Mezi nimi jsou vodorovné čáry neboli příčky, do kterých se zapojují cívky, kontakty, at' už spínací, nebo rozpínací, funkce a funkční bloky. Vodorovné čáry mohou být různě rozvětvené [7].

Příklad programu:



### Jazyk funkčního blokového schématu FBD

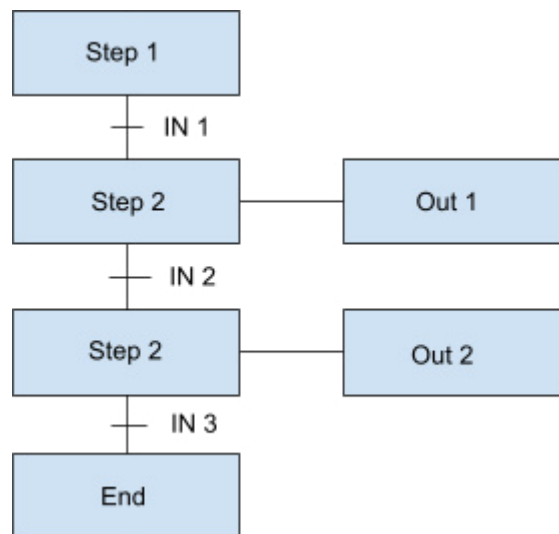
Function Block Diagram ve zkratce FBD spadá do skupiny grafických jazyků. Skládá se z grafických bloků, které jsou mezi sebou propojené. Zapojení se podobá diagramům elektronických obvodů. Jednotlivé bloky pak plní funkce časovače, čítače, funkčních bloků logických funkcí, komunikačních bloků apod. Vzhledy bloků se mohou u jednotlivých výrobců lišit [7].



Obrázek 3.4: Příklad FBD programu

### Jazyk sekvenční funkční diagram SFC

Sequential Function Chart ve zkratce SFC spadá do skupiny grafických jazyků. Jak už název říká, popisuje sekvenční chování řídicího programu. Vychází ze symboliky Petriho sítě. Program se skládá z kroku a přechodů. V jednotlivých krocích se zapisuje blok akcí. V přechodech se nacházejí podmínky, které pokud jsou splněny, předchozí krok je deaktivován a přechází se na další krok s jiným blokem akcí. SFC umožňuje větvení jednotlivých kroků i současný běh více větví naráz [7].



Obrázek 3.5: Příklad SFC programu



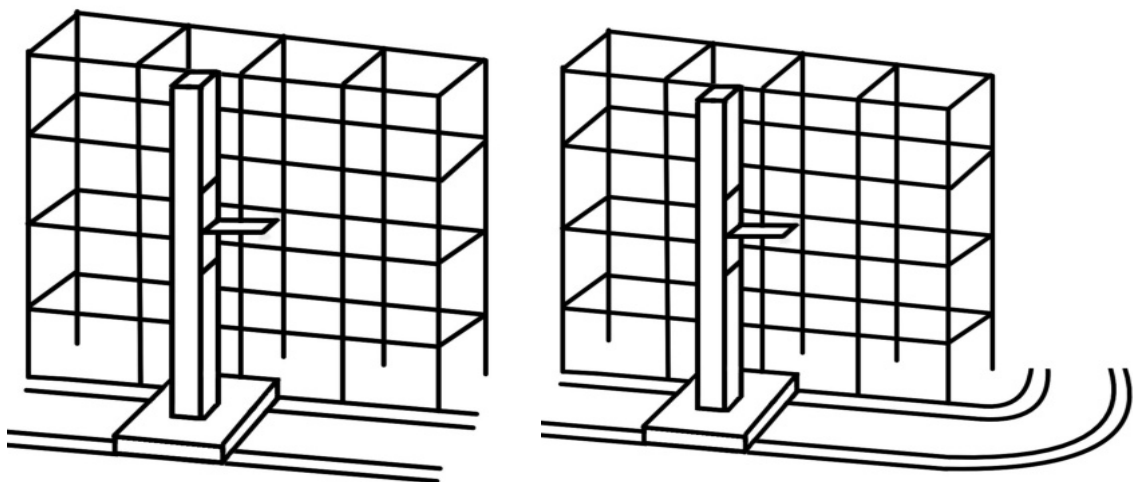
## 4. Regálové zakladače

### 4.1. Popis

Regálový zakladač je ve své podstatě manipulátor. Mezi jeho úkony operací patří nakládka, přeprava, vykládka a překládka. Jde o zařízení určené pouze pro regálové sklady. Především pak pro vysokoregálové sklady, kde se využívá velmi úzkých uliček dosahujících pouhého 1,5 metru. Zařízení slouží pro přepravu různých druhů materiálu na určené skladovací místo či buňky. Při srovnání s vysokozdvížným vozíkem má své omezení při manipulaci v úrovni země, proto je nutné, aby se při návrhu skladu s tímto omezením počítalo a bylo tak doplněné například kombinací právě s vysokozdvížným vozíkem. Proti vysokozdvížnému vozíku má výhodu práce ve vyšších patrech, kde může dosáhnout až 40 metrů. Další předností je, že zátěž, která je zvedána, nemá v průběhu výšky vliv na nosnost. Zakladač má tak stejnou nosnost ve všech výškách.

Z ekonomického pohledu pak platí, že pro nejlepší využití je vhodnější menší počet delších řad nežli větší počet kratších. Pro sklady s vysokým počtem vyskladňovacích operací se v každé uličce používá jeden zakladač. U skladů s nižším počtem vyskladňovacích operací se pak používá zakladačů, které jsou schopné projíždět mezi uličkami.

V posledních letech se klade důraz na využití těchto zařízení na plně automatizovaných pracovištích. Předností těchto automatizovaných pracovišť je rychlá, efektivní a hlavně bezpečná práce díky minimalizaci chybovosti a lidského faktoru.



Obrázek 4.1: a) jednořadé řešení regálového zakladače [8]  
b) víceřadé řešení regálového zakladače [8]

## 4.2. Požadavky regálových zakladačů

Na požadavky zakladačů se lze dívat z mnoha pohledů.

- Prvním takovým pohledem může být bezpečnostní hledisko. Tím se více zabývá kapitola níže.
- Dalším možným pohledem jsou požadavky na návrh a výrobu regálového zakladače. Ty se liší podle jednotlivých částí zařízení a podle typu automatizace. Proto je potřeba si nejprve zakladač rozdělit podle typu stroje a jeho jednotlivých částí. Ke každé jeho části jsou požadavky popsány níže.
- V poslední řadě se požadavek týká zkoušek zakladačů, které jsou taktéž popsány v níže uvedené kapitole.
- Kromě těchto tří pohledů může být i mnoho dalších, jako je pohled na ekologické požadavky ať už při výrobě či likvidaci, ekonomické požadavky, hluk a jiné. Těmi se ale tato práce nezabývá.

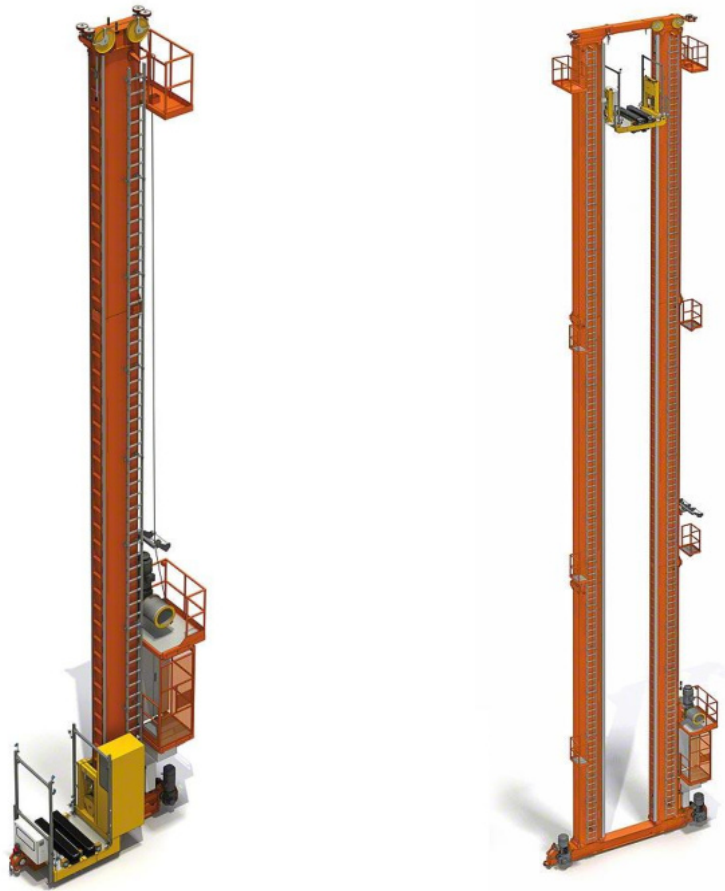
## 4.3. Bezpečnostní požadavky

Regálový zakladač je poměrně velké a komplexní zařízení, vlivem toho může docházet k velkému množství různých nebezpečných situací. Eliminovat možnost úrazu či vzniku nebezpečných situací se snažíme zabránit normou ČSN EN 528, která přesně požadavky popisuje a mimo jiné říká k jakým nebezpečím může na pracovišti dojít. Mezi hlavní podmínky pro bezpečný provoz patří ta, že zakladač musí být obsluhován proškolenou a oprávněnou osobou. Při návrhu zakladače musí být použit správný materiál a při bezpečnostních výpočtech je třeba vzít v úvahu opotřebení stoje i možnou výpočetní chybu. Během provozu musí být jednotlivé části stroje v dobrém stavu i přes jejich opotřebení. Stroj je třeba umístit na bezpečném místě s dobrým osvětlením [8].

## 4.4. Rozdělení zakladačů podle konstrukce:

Vzhledem k nutnosti manipulace různých tvarů, velikostí a hmotností manipulovaných objektů je potřeba, aby byl zakladač schopen tyto objekty přesunout. Toho lze z konstrukčního hlediska dosáhnout pomocí jednosloupového nebo dvousloupového zakladače. Předností jednosloupového regálového zakladače je nižší cena, vyšší dynamický výkon, nižší hmotnost a nižší odběr energie. U dvousloupového regálového zakladače je tomu naopak. Podle konstrukce můžeme zakladače rozdělit do dvou skupin [11].

- Jednosloupový regálový zakladač
- Dvousloupový regálový zakladač



Obrázek 4.2: a) Dvousloupový regálový zakladač [11]  
b) Jednosloupový regálový zakladač [11]

#### **4.5. Rozdělení zakladačů podle stupňů automatizace:**

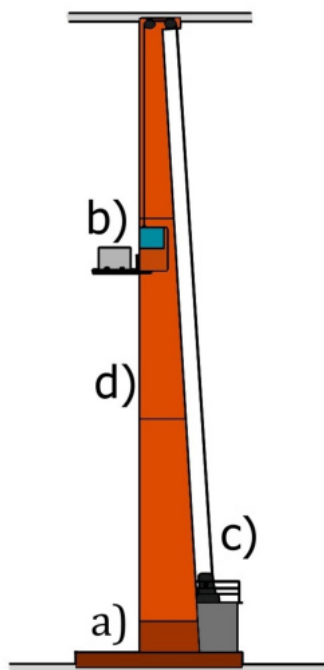
Regálové zakladače mohou být řízeny ručně nebo automaticky. Automatizované stroje pak zpravidla bývají propojením s celoskladovým systémem, jež regálový zakladač ovládá a popisuje jednotlivá umístění. Komunikace může být prováděna například pomocí síťového drátu IEEE 802.3 či bezdrátové komunikace prostřednictvím WLAN IEEE 802.11, Bluetooth a jiných. V případě ovládní pomocí obsluhy je v rámci bezpečnosti omezené použití pro sklady přesahující výšku 16 metrů. Podle stupňů automatizace můžeme zakladače rozdělit do tří skupin.

- Automatické regálové zakladače
- Poloautomatické regálové zakladače
- Ručně řízené regálové zakladače

## 4.6. Hlavní části zakladačů:

Regálový zakladač se skládá ze čtyř základních částí, z nich každá plní svou specifickou funkci.

- a) Pojezdové ústrojí
- b) Zakládací zařízení
- c) Zdvihací zařízení
- d) Nosný sloup



Obrázek 4.3: Nákres regálového zakladače s jeho popisem

### 4.6.1. Pojezdové ústrojí

Pojezdovým ústrojím se myslí spodní část zakladače. Slouží k přesunu zakladače podél regálů. K přesunu se využívá pohybu kol po dvou lineárních kolejnicích, které jsou pevně ukotveny k zemi. Součástí pohybového ústrojí pak bývá zajištění před možným vykolejením. To bývá zajištěno deskou s profilem kolejnice obepínající hlavu kolejnice, která pak zajišťuje také celkovou stabilitu konstrukce. Pohyb lze realizovat jedním či více motory, které jsou upevněny na pojezdovém ústrojí společně s převodovým mechanismem. Více motorů má pak svá omezení. To spočívá v nutnosti přesné synchronizace všech motorů k zabránění možného nadlehčení některého z kol. Výhodou pak více motorů je zlepšení účinnosti brzdění, plynulejší rozběh, nižší nároky na výkony motorů a následně vlivem toho možná nižší cena. Předností pak jednoho motoru je jednodušší konstrukční a převodové řešení [12].

#### **4.6.2. Zakládací zařízení**

Zakládací zařízení je část zakladače, které slouží k nakládání a skládání manipulovaných objektů. Pro co nejefektivnější chod při manipulaci se zařízení snaží dosáhnout toho, aby v obou chodech byl zakladač naložen a tak docházelo k minimálnímu pohybu bez zátěže. Zakládací zařízení je tvořeno ze dvou hlavních částí a to zdvihacího vozíku a výsuvného zařízení. Zdvihací vozík slouží jako vedení ve vertikálním směru podél nosníku. Současně plní funkci jako konstrukce, na které je umístěno výsuvné zařízení. Výsuvné zařízení pak slouží k pohybu v horizontální poloze k nakládání, nebo skládání manipulovaného objektu. Konstrukčně se tak může jednat o výsuvnou plošinu, teleskopické vidle nebo kyvadlový vozík.

Zakládací zařízení má přesné požadavky na umístění manipulovaného objektu. Vlivem různých nepřesností může dojít k deformaci a nepřesnému umístění, proto je třeba počítat s nabírací vůlí, aby došlo k správnému nabrání objektu. Další vůlí, se kterou je třeba počítat, je vůle v buňkách k zajištění dostatečného odstupu mezi jednotlivými buňkami a zabránění kolizí s jiným uskladněným objektem.

Díky velkému počtu výrobců a současně druhů regálových zakladačů má každý zakladač na svém konci výsuvného zařízení vlastní tolerance. Tolerance se, kterými se pak dá počítat, udává každý výrobce zvlášť [12].

#### **4.6.3. Zdvihací zařízení**

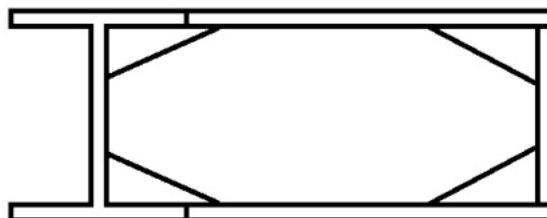
Zdvihové zařízení se skládá z mechanismu zajišťujícího pohyb zakládacího zařízení ve vertikálním směru. Je tvořen ze čtyř hlavních částí motoru, lana, lanového bubnu a kladek. Motor obstarává navíjení lana na lanový buben. Vzhledem k váze manipulačních objektů lze snížit nároky na výkon motoru pomocí systému kladek, případně použitím protizávaží v případě manipulace s příliš velkou zátěží. Pro návrh lana se k výpočtu používá bezpečnosti minimálně  $k = 2,5$ .

Pro lanový buben platí, že smí mít pro každé lano pouze jednu souvislou spirálovou drážku. Lano je navíjeno výhradně v jedné vrstvě. Za předpokladu použití bubnů s navíjecím systémem zde může být vrstev víc. V nejnižší poloze zakladače je nutné, aby na bubnu zbyly minimálně dva závity [12].

#### **4.6.4. Nosný sloup**

Nosný sloup je největší a také nejtěžší součást zakladače. Jedná se o pevně umístěnou součást na pojezdovém zařízení, která tvoří jakousi nosnou kostru, na které jsou umístěny ostatní části stroje. Pro svou délku bývá sloup rozdělen do několika segmentů, které bývají mnohdy stejné, což následně usnadňuje montáž. Díky tomu, že se jedná o nosnou konstrukci, je nutné, aby splňovala dostatečnou

tuhost ale i minimální hmotnost, aby nedošlo ke zborcení konstrukce pod svou vlastní vahou. Toho se dosahuje prostřednictvím svařencové konstrukce, která se sestavuje pomocí nosníku s profilem I, na který jsou navařeny pásy plechů do jakéhosi obdélníkové profilu, viz obrázek níže, jeho rohy bývají vyztužené. Pro posílení pevnosti může obsahovat sloup uvnitř své dutiny žebrování. Dutina též může sloužit pro umístění protizátěže popsané výše v popisu zdvihacího zařízení [12].



Obrázek 4.4: Průřez nosného sloupu [12]

## 4.7. Další části regálových zakladačů

### **Podlaha**

Podlaha jako taková není součástí zakladače, avšak se pod ním nachází a má tak na něj opodstatněný vliv. Na podlahy se lze dívat ze dvou pohledů před montáží a v zaběhlém stavu. Před montáží se myslí stav, kdy je podlaha nezatížená pro správný chod a je potřeba, aby splňovala rovinnost a určenou toleranci stanovenou normou ČSN 267406.

V zaběhlém stavu může docházet vlivem zátěže k sedání podlahy ve svislém směru. To může dosahovat i centimetrových rozměrů, a proto je třeba tuto skutečnost brát v úvahu. Při realizaci se dá tomuto stavu zabránit kvalitnější regálovou konstrukcí [9].

### **Kolejnice na podlaze**

Kolejnice slouží jako dráha, po které se přesouvá zakladač. Při jejím umístění je třeba, aby splňovala stanovenou toleranci jak pro délkové rozměry, tak i pro rozchodový rozměr stanovený normou ČSN 267406. Nedodržením těchto parametrů může docházet k zamezení pohybu, vzniku kolize, případně k zadírání a při neošetřeném přetížení i k poškození pojezdů či motorů [9].

### **Horní vodící kolejnice**

V horní části regálového zakladače je umístěno vedení pomocí vodící kolejnice. Vedení zde slouží k zajištění stability konstrukce.

### **Obrysová kontrola**

Pro běžné měření rozměrů přepravovaného nákladu se využívá fotobuněk. Ty jsou pak zbytečnou komplikací při skladování, pak se raději využívá ručního řízení. Naopak za předpokladu automatizovaných skladů jsou regálové zakladače povinny mít současně obrysovou kontrolu, bez které by nebylo možné je používat.

### **Přepravní prostředek**

K přepravě nákladu se využívá přepravních prostředků. Ty lze rozdělit na normalizované a nenormalizované. Rozměry a tolerance normalizovaných přepravních prostředků lze vyčíst z norem jich popisujících. Nenormalizované přepravní prostředky mají pak své tolerance stanovené výrobcem.

### **Stanoviště obsluhy**

Pro přepravu osob ať už jedné či dvou je nutné mít na stroji místo stanovené pro obsluhu. Umístění obsluhy lze řešit dvěma způsoby. Prvním způsobem je umístění na pevném místě na stroji. Druhým pak na pohyblivém vozíku.

Při automatizovaném řízení není potřeba mít stanoviště pro obsluhu. Pro všechny typy regálových zakladačů však platí, že obsahují nouzové místo obsluhy.

## **4.8. Zkoušky regálových zakladačů**

Kritérium, bez kterého by nebylo v dnešní době možné použít regálový zakladač v praxi, jsou jeho samotné zkoušky. Ty mohou být různých druhů. První zkouška, kterou zakladač absolvuje, bývá prototypová. Ta se provádí při vytvoření nového typu zakladače a provádí se u prvního kusu či kusů. Ta je povinná a stanovená zákonem. U této zkoušky se pak kontroluje jestli splňuje podmínky stanovené normou ČSN 26 7406. Další zkouškou, kterou musí zakladač projít, se uskuteční při jeho nainstalování na jeho pracovním stanovišti. Je již prováděná individuálně a není třeba, aby u ní byl přítomen zkušební orgán. Tento orgán nemusí být přítom ani u dalších typů zkoušek, které jsou dále popsány. Dříve či později dochází k poruchám, které je třeba opravit. Po opravě je třeba zhodnotit osobou, která tuto opravu prováděla, zda je nutné provést zkoušku v případě, že by oprava měla vliv na bezpečnost při provozu a jeho provozní funkci. S touto zkouškou pak koresponduje případ, kdy dochází k rekonstrukci. Zde se pak také provádí zkouška k zabránění možného nebezpečí při provozu. Poslední zkouškou pak bývá pravidelná zkouška, kterou provádí pouze revizní technik. Doba opakování této zkoušky pak bývá stanovena výrobcem.

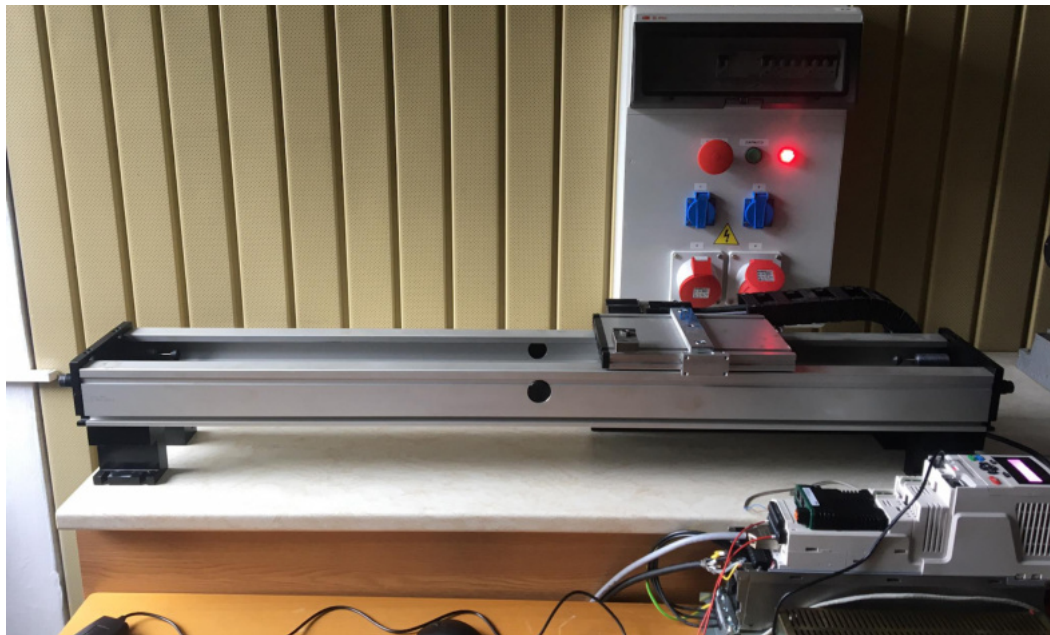
Zkoušky se zaměřují na čtyři oblasti. První oblastí jsou kontroly veškerých nápisů, označení a tabulí, které toto zařízení obsahuje. Druhou oblastí jsou přístupová místa a s nimi související bezpečnostní prvky, do kterých spadají žebříky, stanoviště plošiny, zábradlí a jiné. Předposlední oblastí bývají hlavní části stroje. Ty jsou popsány výše v uvedených kapitolách společně s jejich požadavky a vlivem na zařízení. Poslední oblastí je správná a celková funkce zakladače. Přesnější podmínky zkoušek jsou stanoveny a popsány normou ČSN 26 7403 [10].



## 5. Praktická část

### 5.1. Stručná charakteristika sestavy:

V této práci bylo použito sestavy skládající se z několik dílčích částí sloužících k demonstraci programu navrženého pro regálový zakladač. Vzhledem k velikosti a ceně regálového zakladače bylo nutno využít dostupné varianty lineárního motoru, na kterém bylo možné simulovat jednoosý pohon regálového zakladače. Jednotlivé části sestavy jsou popsány níže.



Obrázek 5.1: Použitá sestava při této práci

#### 5.1.1. Unidrive M701

Měnič M701 spadá do řady M700 společnosti Control Techniques. Jedná se o měnič s programovatelnou vnitřní logikou sloužící k ovládní lineárních motorů, asynchronních motorů, servomotoru a motorů s permanentními magnety. Mimo jiné funkce sem spadá PID regulace, logické funkce, porovnávače, ovládní brzdění motorů a spousty jiných funkcí. Skládá se z několika modulů, které je možná si podle potřeby zvolit. SI moduly lze připevnit maximálně 3 [13].

- Připojovací moduly měniče - zálohování
- Připojovací moduly měniče - komunikace
- Modifikace
- Ovládací panely
- Systémy integračních modulů - zpětná vazba
- Systémy integračních modulů - komunikace
- Systémy integračních modulů - aplikace

- Systémy integračních modulů - bezpečnost
- Systémy integračních modulů - rozšíření počtu vstupu a výstupu
- Připojovací moduly měniče - zálohování
- Připojovací moduly měniče - komunikace

Při této práci bylo využito následujících doplňkových modulů.

### **SD card**

Paměťový adaptér sloužící k nastavení, kopírování a zálohování nastavených parametrů. Mimo jiné slouží k ukládání PLC programů. V této práci byla použita SD karta o velikosti 8 GB.

### **KI - Keypad RTC**

Ovládací panel s LCD displejem. Rozsah displeje o čtyřech řádcích s vykreslováním různých jazyků, parametrů a dat jak číselnou tak i textovou formou.

### **MCi210**

Modul je použit vzhledem k vlastnosti měniče, který není vhodný pravidelně přepisovat. Doplněním modulu se problém s měničem vyřeší. Obsahuje totiž svůj vlastní procesor umožňující kvalitní řízení stroje. Je doplněný o dvouportový switch s ethernetovými vstupy a několika přídatnými vstupy a výstupy.



Obrázek 5.2: a) MCi210 b) KI - Keypad RTC

K své komunikaci měnič M701 využívá podpory dvou softwarových rozhraní stejnojmenného výrobce.

- **Unidrive M Connect**

Software pracující v reálném čase a sloužící k uvádění motorů do provozu a jejich následné monitorování.

- **Machine Control Studio**

Software k vytvoření a nahrání PLC programů. Podporuje všechny typy jazyk stanovené normou IEC 61131-3

### 5.1.2. Brzdný rezistor RBR 2.0

Při rozjezdu motoru dochází ke spotřebě elektřiny ze sítě. Naopak je tomu při brzdění. Motor přestává plnit svou funkci a stává se z něj generátor. V tuto chvíli dochází naopak ke vzniku elektřiny, kterou nelze poslat zpět do sítě a je tak zapotřebí ji někde spotřebovat. K tomu se využívá brzdného rezistoru, který vzniklou elektřinu přemění na teplo. Brzdný rezistor v této práci byl zvolen od společnosti Control Techniques. Skládá se ze dvou odporů o  $48\ \Omega$  zapojených v sérii s trvalým výkonem 1 kW a jmenovitým napětím 500 V.



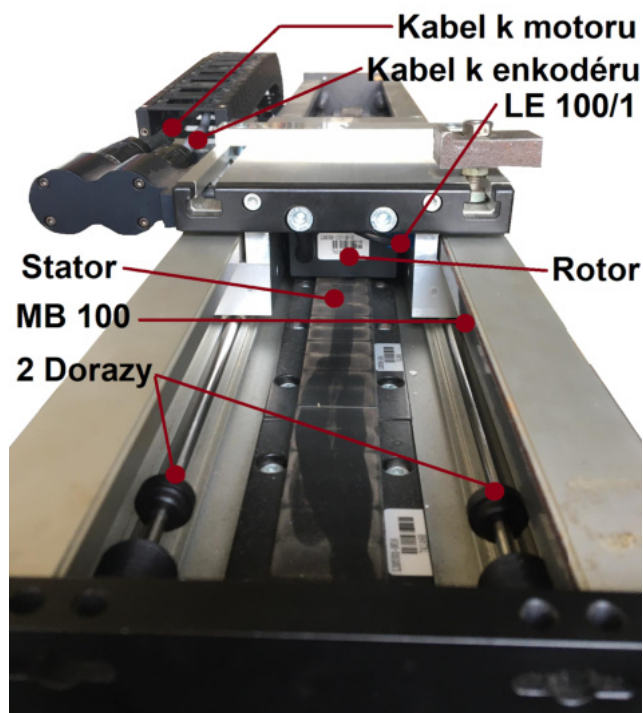
Obrázek 5.3: Brzdný rezistor RBR 2.0

### 5.1.3. Polohovací systém DLM 160

Jednoosý systém se skládá z lineárního synchronního motoru, který je popsán výše v teoretické části práce. Součástí systému jsou dvě vodítka, mechanické dorazy a stůl s T drážkami. Systém je osazen kabelovým řetězem, ve kterém se nachází kabel pro napájení a řízení motoru (černý) a kabel k napájení a monitorování enkodéru (šedý). Konstrukcí je systém navržen tak, aby se na něj daly dodatečně umístit senzory jako jsou dorazy, optické brány, ultrazvukové, magnetické, kapacitní, indukční a jiné senzory [14].

### Lineární enkodér

Kromě výše uvedených součástí se při této práci využívalo magnetického senzoru LE 100/1 a magnetického pásku MB100. Jejich kombinace sloužila jako enkodér k určování aktuální polohy. V tomto případě se jednalo o enkodér přímý, analogový, a lineární. Pro určení polohy se využívá změny magnetické indukce natáčením cívek vůči sobě v podobě dvou sinusových signálů posunutých vůči sobě o 90°. Díky bezdotykovému měření má výhodu v nezávislosti na prachu, vlhkosti a hoblinách. Ke komunikaci využívá šedého kabelu na polohovacím systému [14].



Obrázek 5.4: Popis polohovacího systému DLM 160

### 5.2. Popis zadané aplikace:

Cílem je vytvořit dva PLC programy v programu Machine Control Studio.

- První program je variabilně se pohybující jednoosý lineární pohon, který převáží odlišné typy objektů jako jsou kapaliny, sypké a pevné materiály. Při jeho vytváření je potřeba v něm využít senzory. Tento program má poté sloužit jako demonstrační ukázky a ve dnech otevřených dveří. Po vytvoření programu je nutné změřit průběhy důležitých měnicích se parametrů.

- Druhý program představuje teoretické řešení pro automatický tříosý regálový zakladač. Automatické řešení spočívá v ručním zadání pozice v regálu a následnému automatickému naložení či vyložení manipulovaného objektu ze zvolené pozice regálu.

### **5.3. Přípravy spojené s programováním**

Na samotném začátku programování je nutné propojit použité programy s polohovacím systémem. Pro poměrně komplikovaný postup je popsán návod krok za krokem pro oba použité programy níže.

#### **Unidrive M Connect**

Po spuštění programu se dostává do nabídky volby nového či již uloženého projektu. Při prvním spuštění se vybírá nový projekt, kde se nastavuje použitý měnič a jeho připojené SI moduly.

Při opakovaném spuštění je nutné projekt uložit a poté zpětně spouštět. Dalším krokem je propojení měniče s connectem. K této operaci se využívá horní ikonky s nápisem Online, ve které se zvolí typ připojení a použitého kanálu. Před propojením je nezbytné se ujistit, že je počítač propojen mechanicky s měničem. Pro tuto práci se využívalo ethernetového kabelu. V případě, že nedochází ke správnému propojení, je dobré zkontrolovat nastavení IP adresy. V tutu chvíli komunikuje connect s pohonným systémem.

Při prvním spuštění se nastavují v sekci Motor Setup technické parametry používaného motoru.

U každého spuštění je nutné pro získávání správných hodnot provést ladění, při kterém se automaticky změří účinník motoru a provede se úvodní zarovnání. Ladění se provádí funkcí Autotune v sekci Setup. Po provedení ladění se musí ručně uložit změřené parametry.

Provedením všech předchozích kroků je schopný connect monitorovat všechny nezbytné parametry polohovacího systému. Neumí však nahrát PLC program do měniče ani nemá prostředí pro nějakou tvorbu programu. K tomu se využívá dalšího programu níže.

#### **Machine Control Studio**

První krok je téměř stejný jako u connectu. Po spuštění programu se dostává do nabídky volby nového či již uloženého projektu. Při prvním spuštění se vybírá nový projekt, kde se nastavuje použitý měnič a jeho připojené SI moduly. Rozdílem oproti connectu je volení si jazyku programování a POU jednotky neboli programové organizační jednotky. Jedná se o skupiny programu, které spolu nejsou propojené. Na chod však mají vliv vzhledem k tomu, že každá část má jinou

hodnotu důležitosti (přednosti). Příkladem je nadřazenost POU Position nad Freewheeling.

Při opakovaném spuštění je nutné projekt uložit a poté zpětně spouštět. Dalším krokem, který se vždy provádí, je propojení Machine Control Studio s Unidrive M Connect. K této operaci se využívá levého seznamu s nápisem Devices. Zde se klikne na měnič a potvrdí se Connect to [Drive]. To samé se udělá i u SI modulu. V případě, že stále připojení selhává, je potřeba jak pro měnič tak i SI modul provést Update Device... .

V této fázi jsou oba programy propojeny mezi sebou a měničem. Díky tomu lze vytvořený program úspěšně nahrát do měniče a pozorovat výsledek.

## 5.4. První program:

Vzhledem k poměrně velké možnosti z výběru možných programovacích jazyků, byla pro tvorbu tohoto programu zvolena forma Function Block Diagramu. Ten pracuje v neustálé smyčce a všechny jeho řádky se provádí současně, tzn. pořadí řádku nemá vliv na běh programu.

Tvorba programu byla rozdělena do dvou částí. V první části se řeší pohyby pohybového systému a v druhé části řešení problémů spojených s přepravou různých typů materiálů. Celý program je doplněn v příloze a jeho specifické části řešení jsou popsány níže.

### 5.4.1. Polohování

Úvodní krokem pro rozjetí motoru je úvaha, aby při každém zapnutí měniče došlo k vrácení se na svou výchozí pozici. Řešení lze vidět na obrázku 5.5. V prvním řádku lze vidět logickou funkci AND, ke které se později dostaneme, nyní ji pro zjednodušení lze brát jakoby zde nebyla. V sérii za ní je připojen komparátor, který porovnává skutečnou polohu s požadovanou. Tyto hodnoty jsou psány formou, která je odkazuje na hodnoty v connectu.

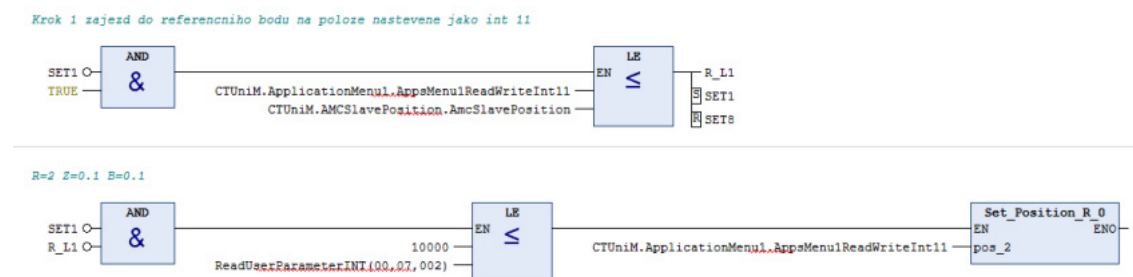
V prostředí connectu na obrázku 5.6 lze vidět hodnoty monitorované z polohovacího systému spojené s polohou (enkodérem). Zde se program odkazuje na parametr s číselným označením 33.006, na které se bude odkazovat v dalších částech programu. Na obrázku 5.7 lze pro změnu pozorovat pomocné proměnné, které se rozdělují na dva typy Read-Only, do kterých lze psát prostřednictvím programu a Read-Write, které lze měnit kdykoliv ručně i programem. Těmto proměnným se ručně zadají hodnoty poloh, na které se má pohon polohovat. U tohoto programu se využívá pět různých poloh s označením 18.011 až 18.015, které budou pro zjednodušení popisovány jako int11 až 15.

Porovnáním dvou hodnot zjistí program, na které straně se od chtěné polohy int11 nachází. Z komparátoru po dosažení chtěné polohy vyjde logická hodnota, která spíná několik programových relé. Jedním z nich sepnutí R\_L1, která

zastaví pohyb na pravou stranu. Mimo to sepne reset SET8, který je vysvětlen později. Vzhledem k tomu, že při testování programu byl int11 volen na samém okraji pohonu jediný možný směr, kterým by motor mohl jet, je právě na jednu stranu (vpravo). Na druhém řádku programu je taktéž logická funkce AND, ta má vstupy negované, funkci pak bude procházet logická jedna, než dojde k najetí do chtěné polohy. V sérii za ní je připojený komparátor, ten je podrobněji vysvětlen v druhé části programu a tak jej lze zanedbat. Posledním blokem v sérii je bloček se dvěma vstupy, který funguje jako podprogram. První vstup bloček aktivuje a druhý funguje jako rozhodující proměnná. Struktura uvnitř je na obrázku 5.8 jedná se o program s while smyčkou psaný v programovacím jazyce Structured text, který porovnává svoji polohu s aktuální, přičemž přepisuje parametr 34.003, který uvádí motor do provozu a snaží se vyrovnat této hodnotě. Další řádky podprogramu budou popsány v druhé části programu.

V této fázi programu je motor schopen po vypnutí a zapnutí najet do své výchozí pozice.

Program je tvořen pro lepší přehlednost z deseti kroků, mezi kterými se přepíná. Přechod je zajištěn programovým trvalým relém SET(1-8) na konci každého kroku se rozepnou všechny jeho části, a současně funguje jako aktivátor pro krok další.



Obrázek 5.5: První krok v programu

The screenshot displays the 'Menu 33 : AMC Slave Position' configuration window. The left sidebar shows a project tree with 'Menu 33 : AMC Slave Position' selected. The main window title is 'Menu 33 : AMC Slave Position' and the subtitle is 'View parameters on the drive and option modules.' Below the title bar, there are utility icons for 'Compare with Defaults', 'Compare with File', 'Print', 'Print preview', 'PDF export', 'Columns', and 'View'. A search bar is present above a table of parameters.

Parameter	Caption	Categories	Value	Source/Destination
33.000	Parameter mm.000		0	
33.001	AMC Slave Source Select		P1 Drive	
33.002	AMC Slave Invert		<input type="checkbox"/> OFF	
33.003	AMC Slave Offset		2993 UU	
33.004	AMC Slave Position		-4600 UU	
33.005	AMC Slave Speed		0.00 UU/ms	
33.006	AMC Slave Freeze Position		0 UU	
33.007	AMC Slave Freeze Select		<input type="checkbox"/> OFF	
33.009	AMC Slave User Position Reference		0	
33.010	AMC Slave Freeze Flag		<input type="checkbox"/> OFF	

Obrázek 5.6: Connect poloha

The screenshot displays the 'Menu 18 : Application Menu 1' configuration window. The left sidebar shows a project tree with 'Menu 18 : Application Menu 1' selected. The main window title is 'Menu 18 : Application Menu 1' and the subtitle is 'View parameters on the drive and option modules.' Below the title bar, there are utility icons for 'Compare with Defaults', 'Compare with File', 'Print', 'Print preview', 'PDF export', 'Columns', and 'View'. A search bar is present above a table of parameters.

Parameter	Caption	Categories	Value	Source/Destination
18.000	Parameter mm.000		0	
18.001	Application Menu 1 Power-down Save Integer		0	
18.002	Application Menu 1 Read-only Integer 2		0	
18.003	Application Menu 1 Read-only Integer 3		0	
18.004	Application Menu 1 Read-only Integer 4		0	
18.005	Application Menu 1 Read-only Integer 5		0	
18.006	Application Menu 1 Read-only Integer 6		0	
18.007	Application Menu 1 Read-only Integer 7		0	
18.008	Application Menu 1 Read-only Integer 8		0	
18.009	Application Menu 1 Read-only Integer 9		0	
18.010	Application Menu 1 Read-only Integer 10		0	
18.011	Application Menu 1 Read-write Integer 11		2000	
18.012	Application Menu 1 Read-write Integer 12		1500	
18.013	Application Menu 1 Read-write Integer 13		-2500	
18.014	Application Menu 1 Read-write Integer 14		500	
18.015	Application Menu 1 Read-write Integer 15		-2000	
18.016	Application Menu 1 Read-write Integer 16		0	
18.017	Application Menu 1 Read-write Integer 17		0	
18.018	Application Menu 1 Read-write Integer 18		0	
18.019	Application Menu 1 Read-write Integer 19		0	
18.020	Application Menu 1 Read-write Integer 20		0	
18.021	Application Menu 1 Read-write Integer 21		0	
18.022	Application Menu 1 Read-write Integer 22		0	
18.023	Application Menu 1 Read-write Integer 23		0	
18.024	Application Menu 1 Read-write Integer 24		0	
18.025	Application Menu 1 Read-write Integer 25		0	
18.026	Application Menu 1 Read-write Integer 26		0	
18.027	Application Menu 1 Read-write Integer 27		0	
18.028	Application Menu 1 Read-write Integer 28		0	
18.029	Application Menu 1 Read-write Integer 29		0	
18.030	Application Menu 1 Read-write Integer 30		0	
18.031	Application Menu 1 Read-write bit 31		<input checked="" type="checkbox"/> On	
18.032	Application Menu 1 Read-write bit 32		<input type="checkbox"/> OFF	
18.033	Application Menu 1 Read-write bit 33		<input type="checkbox"/> OFF	
18.034	Application Menu 1 Read-write bit 34		<input type="checkbox"/> OFF	

Obrázek 5.7: Connect pomocné proměnné



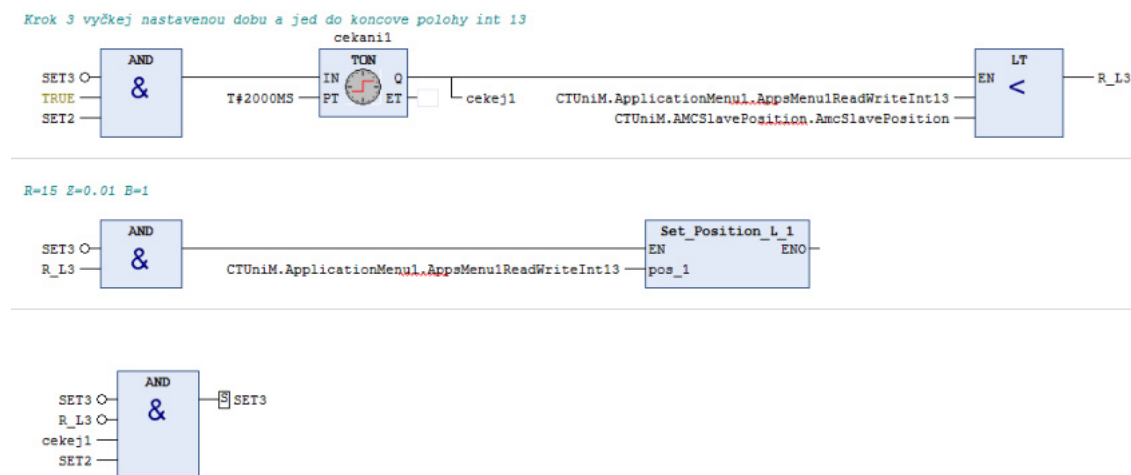
```

1  WHILE ReadUserParameterINT (00,33,004)>pos_1 DO
2  WriteUserParameterINT(00,34,003,pos_1);
3
4  WriteUserParameterREAL(00,38,003,R2);      //rychlost
5  WriteUserParameterREAL(00,38,002,B2);      //brzedení
6  WriteUserParameterREAL(00,38,001,Z2);      //zrychlení
7  WriteUserParameterBOOL(00,18,020,0);
8  //Wait_Time(T#10MS);
9  END_WHILE
10 Wait_Time(T#100MS);

```

Obrázek 5.8: Bloček Set\_Positon

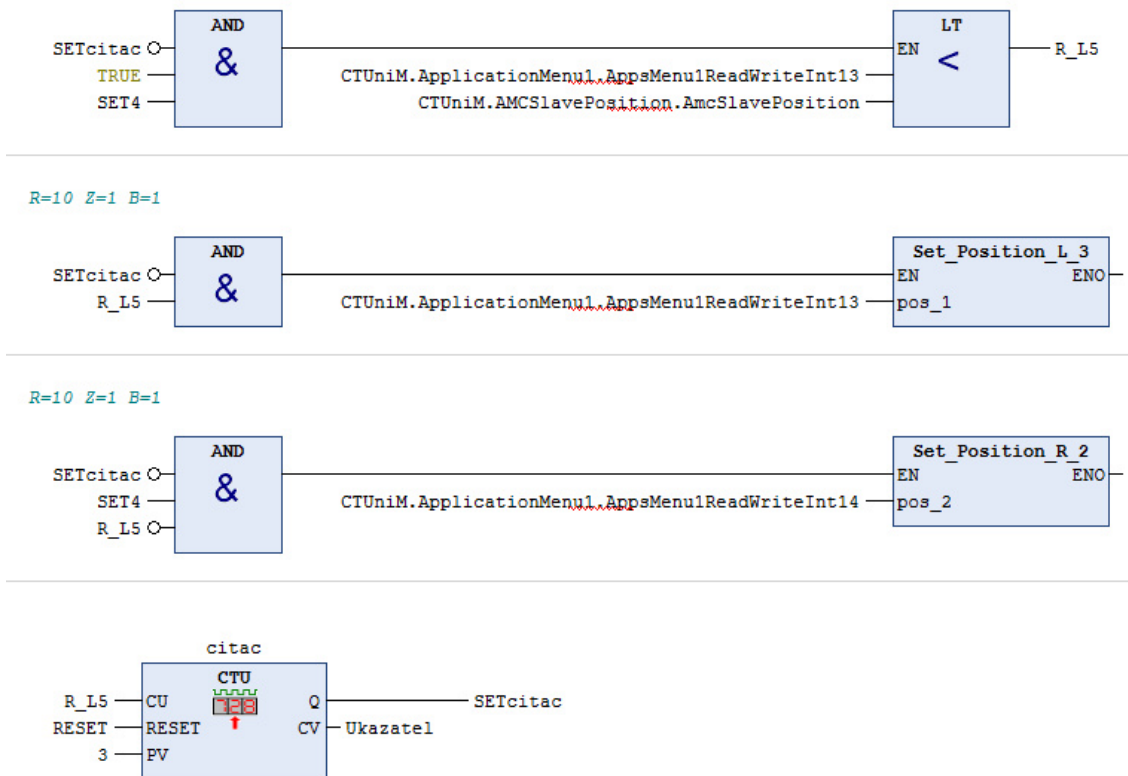
Další specifickou částí programu je krok třetí, kde se využívá bločku A timer on delay function block ve zkratce TON. Bloček po přivedení signálu začne počítat po nastavenou dobu, která je nastavená na vstupu PT. Po uběhnutí nastavené doby sepne a tváří se jako logická 1. Na výstupu ET se zobrazuje čas jak dlouho již bloček počítá.



Obrázek 5.9: Třetí krok v programu

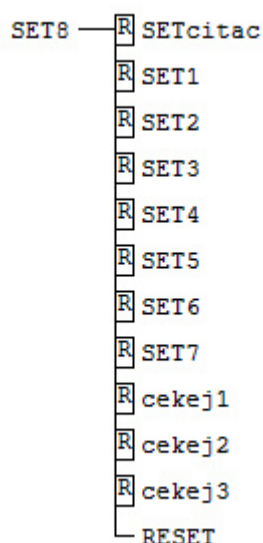
Jiný nástroj, který byl v programu použit, je A up control neboli čítač. Ten byl v programu využit k opatření několika vyjetí a zasetí. Počet signálů, které přijme než na svém výstupu udělá logickou 1 je nastaveno na vstup PV. Čítač po svém sepnutí má trvalý stav dokud nedojde k jeho restartu.

Krok 6 Vyjet 3x do polohy int 13 a vracej se na polohu int 14



Obrázek 5.10: Šestý krok v programu

Posledním důležitým krokem v programu je ten poslední. Důvodem je to, že bylo využito trvalých relé a čítače. Ty je potřeba vyresetovat (rozepnout), aby se cyklus mohl znovu opakovat. V řešení této práce byl závěrečný reset udělán podobně jako u přechodu mezi jednotlivými kroky. Po ustálení na požadované poloze se sepne trvalé relé SET8, které rozepne všechny části kroku a současně vyresetuje celý program. V prvním úvodním kroku pak dojde k restartu SET8 a tak se celý cyklus uzavře.



Obrázek 5.11: Reset programu

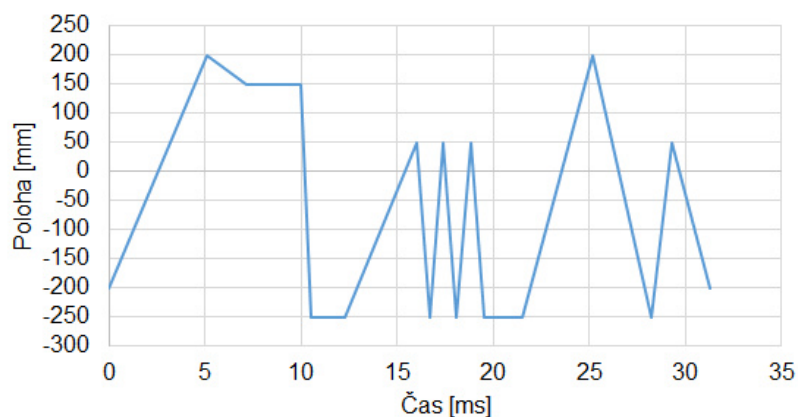
#### 5.4.2. Optimalizace

V předchozí části programu došlo k vytváření variabilně se pohybujícího cyklického průběhu pohybu motoru. K přepravě různých typů materiálů to však nestačí. Při úvaze přepravy tekutin jakožto nejproblémovějším z materiálů by při otevřeném stavu mohlo dojít k vylití a při uzavřeném stavu překlopení. Řešení této problematiky by se dalo vyřešit třemi senzory hmotnosti, které by měřily těžiště nádoby a následkem toho by se upravovalo zrychlení a brzdění. Kvůli tomu, že senzory nebyly dostupné, lze tento problém vyřešit experimentálně. Pokusy by spočívaly v opakovaných změnách zrychlení, brzdění a pozorování vlivu na tekutinu. Toto řešení je však nebezpečné vzhledem k velkému lokálnímu množství elektroniky a tak bylo v této práci použito řešení aplikováním pro jednotlivé pohyby snížení zrychlení a brzdění. Na obrázku 5.8 lze v podprogramu vidět tři parametry, kterými se přepisují hodnoty v connectu sekci Profile generator, jedná se o maximální dosažitelnou rychlost, brzdění a zrychlení. Mimo to lze použít v programu i Ryv představuje míru změny zrychlení.

U regálových zakladačů s automatickým řízením se vždy využívá obrysová kontrola. Při této práci se využilo právě této myšlenky a byl použit senzor v podobě mechanického přivedení napětí na vstup do sběrnice měniče. Toto spínání pak představuje použitý reálný senzor, který kontroluje například správnou výšku objektu. Použitý senzor by pak mohla být optická brána. Na obrázku 5.5 lze vidět v druhém řádku komparátor, který porovnává hodnotu na vstupu sběrnice s označením 7.002 s hodnotou 1000. Vzhledem k tomu, že se jedná o analogový vstup, hodnota 1000 představuje sepnutý stav.

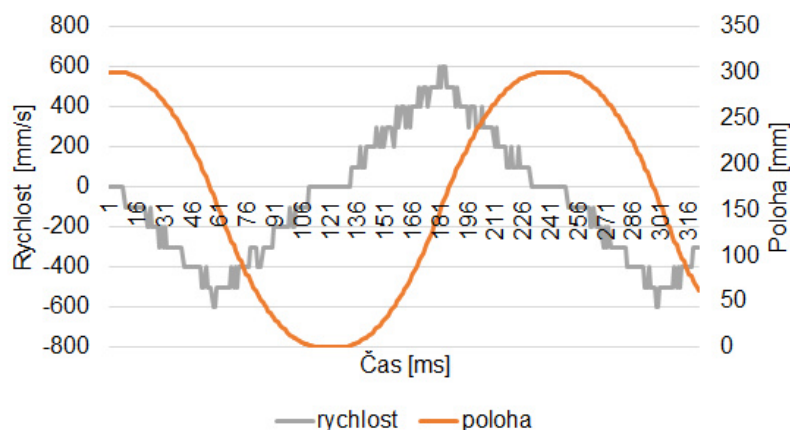
## 5.5. Měření

Jednou z mnoha předností programu Unidrive M Connect je, že mimo monitorování lze měřit průběhy všech dostupných parametrů. Nástroj, který je k tomu určen se nazývá Onboard Scope a lze jej nalézt v sekci Diagnostics. Pomocí tohoto nástroje tak se dalo poměrně přesně změřit chtěné parametry. Prvním takovým je celkový průběh polohy pohonu.

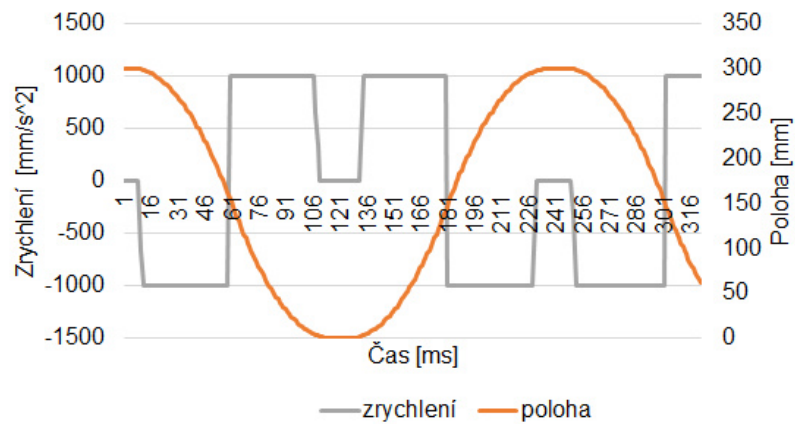


Obrázek 5.12: Celý průběh polohy pohonu

Vzhledem k tomu, že je doba jednoho cyklu poměrně dlouhá, měřené hodnoty by tak byly dost nepřehledné a zkreslené. Použil se proto u dalších měření cyklický průběh v rozsahu 300 až 0 mm o zrychlení  $1000 \text{ mm/s}^2$ , brzdění  $10 \text{ mm/s}$  a maximální dosažené rychlosti  $600 \text{ mm/s}$ . Z měření se získaly dva následující průběhy spojené s polohou. Na prvním z těchto grafů lze vidět, jak se změnila rychlost v čase. Má kaskádovitý průběh a dosahuje opravdu nastavené maximální rychlosti  $600 \text{ mm/s}$ . Pokud by se proložil graf křivkou, získal by se téměř lineární průběh. Důvodem, proč nedochází k ideálnímu průběhu je ten, že na něj působí nastavené brzdění. Průběh by při jeho odebrání odpovídal integraci konstantního zrychlení, jehož průběh lze pozorovat na grafu 3.



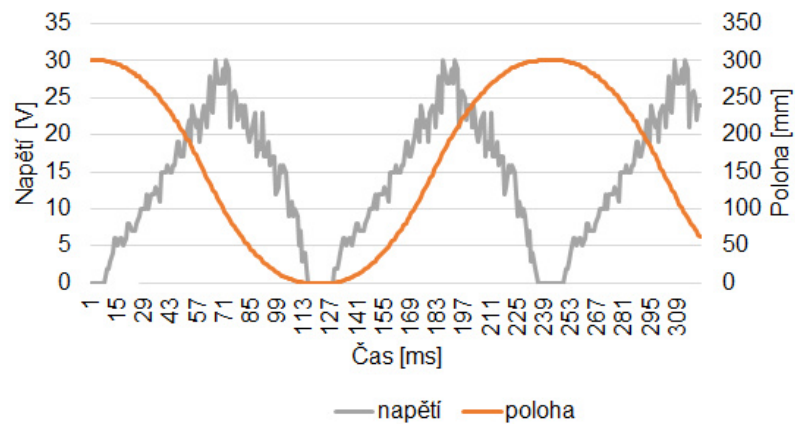
Obrázek 5.13: Průběh rychlosti v čase



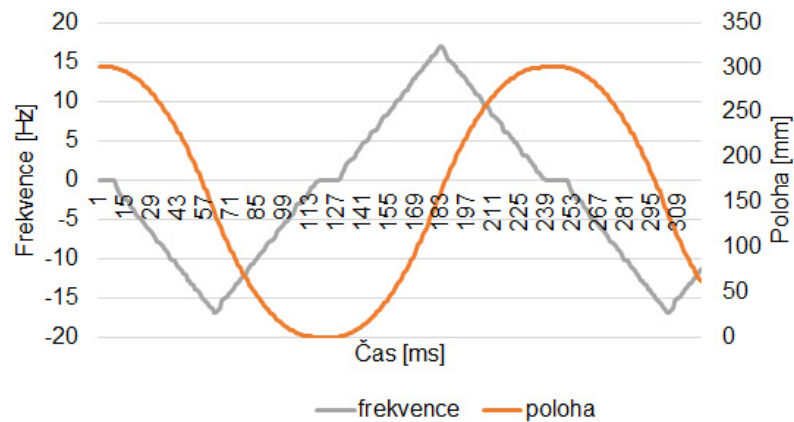
Obrázek 5.14: Průběh zrychlení v čase

V connectu je možné taktěž pozorovat změny na motoru v sekci Motor Control. Z této sekce bylo pozorováno napětí, frekvence a výkon na motoru.

U grafu s průběhem napětí lze vidět, že má při zastaveném motoru nulové napětí. Maximálního napětí pak dosahuje při nejvyšší rychlosti. Taktěž je tomu i u grafu průběhu frekvence s minimy a maximy. Oba mají průběh V tvar. U frekvence je symetrický jak pro zrychlování tak brzdění. Zatímco u průběhu napětí se při brzdění (generátorový stav) začíná napětí rychleji snižovat.

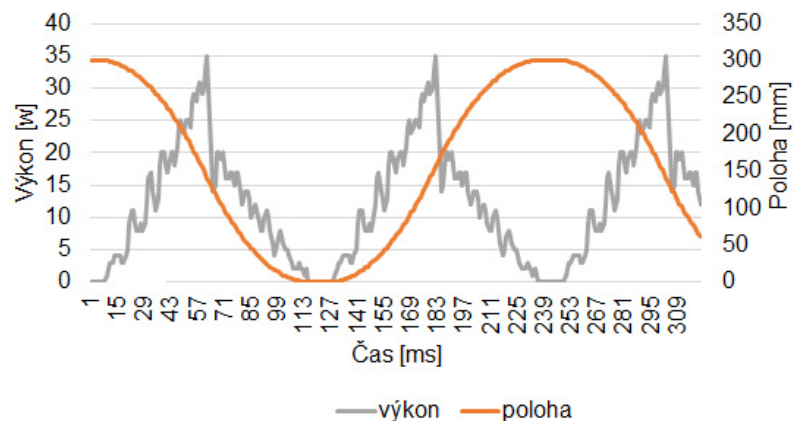


Obrázek 5.15: Průběh napětí na motoru



Obrázek 5.16: Průběh frekvence na motoru

Nejzajímavějším průběhem je pak výkonový. Na něm lze vidět, že maximální špičky dosahuje při nejvyšší rychlosti motoru. Jakmile však dojde ke zpomalování motoru, dochází u výkonu k propadu. To značí, že byla část výkonu sebrána aktivací brzdného odporu. Pomocí hodnot z průběhu lze dopočítat i jiné parametry.



Obrázek 5.17 Průběh výkonu motoru

Ze znalosti fyziky víme, že se při z integrování výkonu podle času dosáhne práce. S využitím tohoto vzorce a několika úprav lze spočítat sílu, kterou působí v horizontální ose. Ve vzorci pak figuruje výkon a rychlost. Pro maximální výkon se síla rovná:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d(F \cdot x)}{dt} = F \cdot v \quad (5.1)$$

$$F = \frac{P}{v} = \frac{35}{0,5} = 70 \text{ N}$$

## 5.6. Druhý program:

Řešením této úlohy je program vytvořený na základě získaných zkušeností při vytváření předešlé programové úlohy. Celá struktura programu je dostupná v příloze. Proti předešlému řešení je psán program v jazyce ladder diagramu.

Důvodem, proč nebylo možné tuto úlohu řešit prakticky, byl fakt, že byl dostupný pouze jeden měnič. Za předpokladu dostupnosti tří měničů by se tato úloha dala vyzkoušet. Měniče by se mezi sebou propojily a bylo by tak možné řídit tříosé pohony. U regálového zakladače by se jednalo o horizontální osy pro pohyb mezi řadami, vertikální pro pohyb mezi řádky a o zakládací osu (taktéž horizontální).

Program je navržen tak, aby se při propojení s connectem zadala požadovaná poloha do pomocné proměnné read-write int11 známou z obrázku 5.7. Skrze jednodušší pochopení a přehlednost je program navržený pro regál o třech řadách a třech řádcích. Zvětšením rozměrů regálu by se program musel upravit s využitím již použitých myšlenek.

Na začátku se zadá poloha buňky v regále od 1 do 9. Tímto krokem dostává měnič rozkaz, aby se všechny pohony nastavily do své základní pozice. Pak program přiřadí k zadanému číslu polohu řady a řádku. Následujícím krokem se pohony nastaví na požadované polohy kromě zakládacího pohonu, který zůstává v klidu. Nyní se vysune zakládací zařízení, které umístí nebo naopak vytáhne náklad a vrátí se do své původní pozice. Tento krok je velmi důležitý, aby byl proveden bez jakéhokoliv pohybu v ostatních osách z důvodu vzniku možné kolize. Tímto krokem program končí a celý cyklus se opakuje.

Řešení lze obohatit o použití polohovacích senzorů pro správné polohování a zabránění špatného naskladnění a vyskladnění. Mimo to lze využít senzorů koncových dorazů, vyhnutí se pohybu mimo oblasti řízení, obrysové kontroly a senzoru nebo spínače potvrzujícího opakování celého cyklu.

## 6. Závěr

V teoretické části práce bylo seznámení se s lineárními motory. V této kapitole bylo popsáno několik možných způsobů jejich řešení. Byl zde popsán princip funkce, vlastnosti a jejich hlavní přednosti. Mimo motory zde bylo zmíněno, že lze dosáhnout stejného pohybu i jinými způsoby. Jedním z popsaných motorů byl synchronní motor, se kterým se později v praktické části pracovalo.

V další části teoretické práce bylo pojednání o programovatelných automatech. Zde bylo popsáno, jakými způsoby je lze programovat, z jakých částí se skládají a podle čeho se dají rozdělit. V praktické části se těchto poznatků využilo a byly vytvořeny dva programy s využitím dvou programovacích jazyků, jedním z nich byl Function Block Diagram a druhý Sequential Function Chart. U podprogramu se doplňkově využilo i třetího jazyku Structured text.

Poslední teoretická část se zabývá vysvětlením, z kterých částí se regálový zakladač skládá a jaké parametry musí jeho jednotlivé části splňovat. Byly zde popsány bezpečnostní požadavky a zkoušky, které musí zakladač absolvovat. Tyto informace byly vhodné pro obecné pochopení práce zakladače a upozornění k jakým situacím může dojít. Na základě těchto poznatků pak byl vytvořen program pro jeho ovládání.

Na začátku praktické části byla popsána dostupná sestava zařízení, na které se prováděla simulace programu. S využitím softwarů Machine Control Connect byl vytvořen program, který slouží jako učební pomůcka například pro prezentaci učebny na dnech otevřených dveří. Ze simulace provedené na sestavě byly změřeny průběhy měnicích se parametrů pohonu. Průběhy pak byly popsány. Další částí práce bylo vytvoření druhého programu pro tříosý regálový zakladač. Program nebylo možné vyzkoušet z důvodu nedostupnosti více měničů, které by ovládaly jednotlivé osy pohonů, díky kterým by pak bylo možné simulaci provést. Tato část tak byla vytvořena jako teoretické řešení.



## 7. Seznam použitých zdrojů

- [1] KRAMÁŘ, O. *Návrh lineárního oscilačního pohonu s vnitřním buzením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 94 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Vladislav Singule, CSc.
- [2] CHEVAILLER, Samuel a Marcel JUFER. *Comparative study and selection criteria of linear motors*. Lausanne: EPFL (Lausanne), 2006. DOI: 10.5075/epfl-thesis-3569.
- [3] WAJDI, Zaafrane, Mahmoud IMED, Fathalah MOURAD a Rehaoulia HABIB. *Control of linear switched reluctance motor for biomedical application*. In: Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA) 2013 International Conference [online]. Tunis: IEEE, 2013, s. 1-7 [cit. 2017-11-12]. DOI: 10.1109/ICEESA.2013.6578489. ISBN 978-1-4673-6302-0.
- [4] ROUBÍČEK, Ota. Tendence vývoje v oblasti průmyslových elektrických lineárních pohonů (1). *Elektro* [online]. FCC PUBLIC, 2003 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/tendence-vyvoje-v-oblastiprumyslovych-elektricky-linearnich-pohonu-1--14181>
- [5] PETRUZELLA, Frank D. *Programmable logic controllers* [online]. New York: McGraw-Hill, 1989 [cit. 2021-5-9]. ISBN Programmable Logic Controllers.
- [6] KAFTAN, Jürgen. *PLC Basic Course with SIMATIC S7: Structure and Function of Programmable Logic Controllers, Programming with the SIMATIC S7* [online]. Germany: Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg, 1998 [cit. 2021-5-9]. ISBN 978-3-8343-3201-1.
- [7] *Practical Industrial Programming using IEC 61131-3 for PLCs* [online]. Technology Training that Works [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: [www.idc-online.com](http://www.idc-online.com)
- [8] ČSN EN 528. *Regálové zakladače - Bezpečnostní požadavky*. 2009.
- [9] ČSN 26 7406. *Pravidla pro navrhování regálových zakladačů: Tolerance a manipulační vůle ve výškových regálových skladech*. 1993.
- [10] ČSN 26 740. *Regálové zakladače: Metody zkoušení*. 1993.
- [11] Skladové zakladače (výťahy) na palety. *Mecalux* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.mecalux.sk/automaticky-sklad-palety/zakladac>

- [12] JAVŮREK, F. Regálový zakladač pro ukládání palet v automatickém skladu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 95 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
- [13] Uživatelská příručka: Unidrive M700, Unidrive M701, Unidrive M702. 2. dopl. vyd. Control Techniques Ltd, 2016.
- [14] BAHR-MODULTECHNIK. *LINEAR MOTOR DRIVE* [online]. Luhden [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.bahr-modultechnik.de/en/produkt/positioniersystem-dlm/>

# Seznam obrázků

2.1 Schématické značení jednočinného pístu.....	9
2.2 Schématické značení dvoučinného pístu.....	9
2.3 Nákres Synchronní lineární motor .....	10
2.4 Nákres Tubulární lineární motor.....	11
2.5 Princip funkce Piezoelektrický lineární motoru.....	12
2.6 a) Průběh přímého lineárního pohybu.....	14
b) Nepřímého lineárního pohybu.....	14
3.1 Nákres vnitřního uspořádání kompaktního PLC.....	16
3.2 Nákres vnitřního uspořádání modulárního PLC .....	16
3.3 Nákres BUS systému .....	18
3.4 Příklad FBD programu.....	20
3.5 Příklad SFC programu .....	21
4.1 a) Jednořadé řešení regálového zakladače.....	22
b) Víceřadé řešení regálového zakladače .....	22
4.2 a) Dvousloupový regálový zakladač .....	24
b) Jednosloupový regálový zakladač .....	24
4.3 Nákres regálového zakladače s jeho popisem.....	25
4.4 Průřez nosného sloupu .....	27
5.1 Použitá sestava při této práci.....	30
5.2 a) MCI210.....	31
b) KI - Keypad RTC .....	31
5.3 Brzdny rezistor RBR 2.0 .....	32
5.4 Popis polohovacího systému DLM 160.....	33
5.5 První krok v programu .....	36
5.6 Connect poloha.....	37
5.7 Connect pomocné proměnné .....	37
5.8 Bloček Set_Positon.....	38
5.9 Třetí krok v programu.....	38
5.10 Šestý krok v programu .....	39
5.11 Reset programu.....	40
5.12 Celý průběh polohy pohonu .....	41
5.13 Průběh rychlosti v čase.....	41

5.14 Průběh zrychlení v čase.....	42
5.15 Průběh napětí na motoru.....	42
5.16 Průběh frekvence na motoru .....	43
5.17 Průběh výkonu motoru.....	43

# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky:

LM	-	Lineární motor
PLM	-	Pneumatický lineární motor
CNC	-	Computer Numerical Control
PLC	-	Programmable Logic Controller
CPU	-	Central Processing Unit
LD	-	Ladder Diagram
IL	-	Instruction List
ST	-	Structured Text
FBD	-	Function Block Diagram
SFC	-	Sequential Function Chart
WLAN	-	Wireless Local Area Network
TON	-	A timer on delay function block
LCD	-	Liquid Crystal Display
SI	-	Systémy integračních modulů

## Symbols:

P	-	Výkon	[W]
W	-	Práce	[J]
x	-	Poloha	[mm]
t	-	Čas	[ms]
F	-	Síla	[N]
v	-	Rychlost	[mm/s]
a	-	Zrychlení	[mm/s <sup>2</sup> ]
U	-	Napětí	[V]
f	-	Frekvence	[Hz]
R	-	Odpor	[Ω]
k	-	Bezpečnostní koeficient	[-]

# Seznam příloh

Příloha č. I: Prvni\_PLC\_program  
Příloha č. II: Druhy\_PLC\_program