

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
Návrh robotického pracoviště pro ohýbačku vodičů

Josef Viktora, 2019

Oboustranná kopie zadání

Návrh robotického pracoviště pro ohýbačku vodičů

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci automatického pracoviště pro ohýbání vodičů s využitím průmyslového robota s cílem nahradit pracovníky z výrobního procesu.

Úvodní kapitola obsahuje teoretické poznatky z oblasti průmyslových robotů – jejich druhy, vlastnosti, výhody/nevýhody. Praktická část práce se zabývá mechanickým návrhem pracoviště, popisem elektronických řízení a stavbou obslužného programu. Zahrnuje také stručný popis využitého programovacího prostředí. V závěrečné kapitole je vypracován technicko-ekonomický posudek, který pojednává nad výhodami využití robotického pracoviště oproti lidské pracovní síle. Závěrem byla stanovena doba návratnosti implementace pracoviště.

Klíčová slova: Průmyslový robot, FANUC, automat, automatizace, robot, ohýbačka, vodič, on-line programování, ekonomický posudek, doba návratnosti

64 stran

15 obrázků

5 tabulek

2 přílohy

Design of a robotic workplace for a wire bender

This diploma thesis is focused on design and realization of automatic workplace for bending wires using industrial robot in order to replace workers from the production process.

The introductory chapter contains theoretical knowledge of industrial robots - their types, properties, advantages / disadvantages. The practical part deals with the mechanical design of the workplace, the description of electronic control and the construction of the control program. It also includes a brief description of the programming environment used. In the final chapter is made a technical-economic study, which discusses the advantages and disadvantages of using a robotic workplace compared to the human workforce. In the end, using the technical-economic study is set the payback period of the workplace implementation.

Key words: Industrial robot, FANUC, automat, automation, robot, bender, wire, on-line programming, economic review, payback period

64 pages

15 figures

5 tables

2 appendices

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. a jednatelem této společnosti za možnost spolupráce na tomto projektu, za poskytnutí nástrojů, materiálu, času a financí, které umožnili vzniku této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. za poskytnuté informace a rady využité při zpracování práce.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
1 AUTOMATIZACE A ROBOTIZACE	12
1.1. Definování základních pojmů	13
1.2. Průmyslový robot	14
1.2.1. Části průmyslových robotů	15
1.2.2. Rozdělení průmyslových robotů	16
1.2.3. Parametry průmyslových robotů	18
1.2.4. Využití průmyslových robotů	19
1.2.5. Nástroje – efekторы	20
2 NÁVRH MECHANIKY ZAŘÍZENÍ	21
2.1. Robot LR MATE 200 iD	22
2.1.1. Řídicí jednotka R-30 iB	23
2.2. Navržená zařízení	24
2.2.1. Koncový efektor	24
2.2.2. Střih vodiče	24
2.2.3. Odstranění izolace vodiče	25
2.2.4. Ohyb vodiče	25
2.2.5. Cínování vodiče	26
2.3. Postup výrobního procesu	27
3 NÁVRH ELEKTRONIKY ZAŘÍZENÍ	28
3.1. Použité vstupy a výstupy	28
3.2. Použité elektrické zdroje napětí	28
3.3. Řízení motoru podavače	28
3.3.1. Astabilní klopný obvod s časovačem NE555	29
3.3.2. Snímač přiblížení	31
3.4. Tlakové čidlo	31
3.5. Ostatní zařízení	31
4 PROGRAMOVÉ ŘÍZENÍ	32
4.1. Uživatelské prostředí FANUC	32
4.1.1. On-line programování pomocí teach-pendantu	33
4.2. Souřadnicové systémy	35

4.3. Řízení pohybu	36
4.3.1. Typy pohybů robota	36
4.4. Programy na pozadí (Background program)	37
5 ŘEŠENÍ PROGRAMU	38
5.1. Stavba programu	38
5.2. Vývojový diagram programu	39
5.3. Vstupy a výstupy	41
5.4. Využití programu na pozadí	42
5.5. Zabezpečení	42
6 TECHNICKO-EKONOMICKÝ POSUDEK	43
6.1. Časový plán projektu	43
6.2. Počáteční investice	44
6.3. Posouzení efektivity technického řešení	45
6.4. Stanovení doby návratnosti investice	45
7 ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	50
PŘÍLOHY	52

Seznam symbolů a zkratek

PC	Personal Computer
TP	Teach-pendant
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
CNC	Computer Numeric Control
DCS	Dual Check Safety
DRAM	Dynamic Random Acces Memory
NO	Normally Open
DI/DO	Digital Input / Digital Output
HSCD	High Sensitivity Collision Detection
RO	Robotic Output
PCB	Printed Circuit Board
ICT	In-circuit Test
PP	Payback Period
PI	Počáteční investice
NO	Náklady na obsluhu robota
NP	Náklady na provoz robota
NS	Náklady na servis robota
ÚMN	Úspora mzdových nákladů
ÚMNO	Úspora mzdových nákladů za operátora

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Průmyslové roboty FANUC	15
Obrázek 1-2: Kloubové roboty	16
Obrázek 1-3: Delta robot	17
Obrázek 1-4: SCARA robot	17
Obrázek 1-5: Kartézský robot	18
Obrázek 2-1: Technický výkres zadání výrobku	21
Obrázek 2-2: Rozmístění jednotlivých zařízení na pracovní ploše	22
Obrázek 2-3: Průmyslový robot – typ LR MATE 200iD	22
Obrázek 2-4: Řídicí jednotka R-30iB a ovladač iPendant Touch	23
Obrázek 2-5: Navržené úchopové kleště robota	24
Obrázek 2-6: Řešení podavače a stříhu vodiče	25
Obrázek 2-7: Řešení zařízení pro odstranění izolace	25
Obrázek 2-8: Řešení zařízení pro ohyb vodiče	26
Obrázek 2-9: Řešení aparátu na tavidlo	26
Obrázek 2-10: Cínovací lázeň	27
Obrázek 3-1: Zapojení astabilního klopného obvodu s časovačem NE555	29
Obrázek 4-1: Ukázka uživatelského rozhraní FANUC iPendant Touch	34
Obrázek 4-2: Souřadnicové systémy	35
Obrázek 4-3: Pohyb FINE a různé velikosti pohybu CNT	37
Obrázek 5-1: Vývojový diagram programu	39
Obrázek 5-2: Zápis hlavního programu	40
Obrázek 5-3: Příklad zápisu vyhodnocovací podmínky DI/DO	41

Seznam tabulek

Tabulka 1: Výhody a nevýhody průmyslových robotů	20
Tabulka 2: Časová náročnost dílčích činností výroby robotického pracoviště	43
Tabulka 3: Finanční náročnost robotického pracoviště.....	44
Tabulka 4: Porovnání doby trvání dílčích činností (robot/operátor).....	45
Tabulka 5: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO.....	46
Tabulka 6: Položky a jejich hodnoty pro výpočet NS.....	46
Tabulka 7: Položky a jejich hodnoty pro výpočet NO	47
Tabulka 8: Položky a jejich hodnoty pro výpočet provozních nákladů NP	47

Úvod

Náplní této diplomové práce je návrh a realizace robotického pracoviště pro ohyb vodičů. Úkolem tohoto stanoviště je automatizace výrobního procesu, který tato práce popisuje. Návrh a výroba stanoviště probíhala ve spolupráci s podnikem P&V Elektronik spol. s r.o.

Pro splnění cíle práce je nejprve proveden návrh mechanických částí pracoviště a určeno jejich umístění na pracovní ploše. Dále je proveden návrh a rozvody řídicí elektroniky a rozvody vzduchu pro pneumatické válce. Následuje sestavení funkčního programu robota. Výsledný program a jednotlivé úkony robota je potřeba následně optimalizovat a přizpůsobit k uvedení do automatické výroby. V poslední kapitole je provedena analýza časové a finanční náročnosti zhotoveného technického řešení a vyhodnoceny jeho přínosy pro podnik.

Práce je rozdělena celkově do šesti kapitol. V první kapitole je nastíněna krátká teorie robotizace, jsou zde zmíněny druhy průmyslových robotů a jejich vlastnosti. Následuje vlastní zpracování návrhu mechanické konstrukce a dílčích zařízení robotického pracoviště. Třetí kapitola je věnována návrhu a zapojení řídicí elektroniky. Kapitoly čtyři a pět obsahují popis vývojového prostředí, způsob ovládní a programování robota. Je zde popsán zhotovený funkční program a vysvětleny jednotlivé operace. V poslední šesté kapitole byl zpracován technicko-ekonomický posudek projektu a na závěr byla stanovena doba návratnosti z úspory na mzdách za operátory.

Cílem práce je zhotovení pracoviště, které bude automaticky provádět sled operací plynoucí ze zadaného úkolu.

1 Automatizace a robotizace

Jedná se o proces, při němž je ve výrobě nahrazován lidský faktor průmyslovými roboty. V dnešní době lze automatizaci uplatnit prakticky ve všech výrobních a montážních procesech. Snad nejvíce zmiňovaná výhoda automatizace výrobních procesů v průmyslu je výrazné zvýšení produktivity a zároveň snížení nároků na lidské zdroje. To je spojeno s rychlejší výrobou a menšími mzdovými náklady. Díky tomu automatizovaný provoz zvyšuje konkurenceschopnost podniků a zároveň je prostředkem pro jejich snazší začlenění do světové ekonomiky. Snížením lidského faktoru a zavedením průmyslových robotů se snižují nejen nároky na lidské zdroje, ale zároveň se snižuje i chybovost. Z toho vyplývá vyšší produktivita práce a lepší kvalita finálního výrobku.[1],[5]

Díky automatizaci je jistá i návratnost, a to nejen z finančního hlediska, ale také v podobě lidského zdraví, protože nahrazuje tvrdou, fyzicky namáhavou nebo monotónní práci. Kromě toho se lidský faktor nahrazuje všude tam, kde se jedná o práci odehrávající se v prostředí s nebezpečím výbuchu nebo jinak škodlivém prostředí. Stroje totiž mohou pracovat i za extrémních teplot nebo v atmosférách, které jsou radioaktivní nebo toxické. Tím, že lidé nemusí pracovat v drsném prostředí a s těžkými součástkami, chrání si své zdraví, a i jejich výkon je pro firmu ekonomičtější.[3],[5]

V dnešní době je robotizace čím dál častější, protože roboty procházejí neustálou inovací, jsou neustále průběžně zdokonalovány a přibývá jim nových funkcí. Ať už se jedná o digitalizaci, senzoriku, sběr dat nebo o přenosy a zpracování informací na úrovni jednoho stroje, výrobní haly nebo dokonce celého podniku.[5]

Pro robotizaci pracovišť v podstatě neexistují jasné limity. U běžných podniků jde však především o počáteční investici a její návratnost. Na základě správného vyhodnocení analýzy výroby může jít z počátku o poměrně vysokou investici, která ale bude v dohledné době nejen návratná, ale dokonce velmi výdělečná. Jak již bylo řečeno, u robotů totiž odpadají mzdové náklady spojené se zdravotním a sociálním pojištěním. Dále, nebudeme-li počítat s nutnými přestávkami na údržbu či přenastavení robota, je robot schopen pracovat v podstatě neomezenou dobu.[3]

1.1. Definování základních pojmů

Automatizace

Automatizace je technologie, pomocí které je proces nebo postup prováděn s minimální lidskou pomocí. Automatizace nebo automatické řízení označuje použití různých řídicích systémů pro provoz zařízení, které nahrazují, zrychlují, zpřesňují a celkově usnadňují lidskou práci. Automatizace pokrývá nesčetné množství aplikací. Například od domácího termostatu ovládajícího kotel až po velký průmyslový řídicí systém s desítkami tisíc vstupních měření a výstupních řídicích signálů. Ve složitosti řízení se může pohybovat od jednoduchých stavů zapnuto/vypnuto až po multi-variabilní algoritmy vysoké úrovně. [5]

Ideálním předpokladem automatizace je tzv. filozofie „Lights Out“, kdy jde o úplné vyřazení člověka z výrobního procesu, aby se eliminovaly náklady na pracovní sílu. Tento pojem vznikl ze situace, kdy výrobní továrna je plně automatizována, nevyžaduje žádnou přítomnost lidí na pracovišti a může tedy běžet „s vypnutými světly“. Tato možnost je však v praxi téměř neuskutečnitelná. Vyžaduje totiž naprostou spolehlivost zařízení a jejich dlouhodobé mechanické schopnosti. Úplného zhasnutí však nelze dosáhnout, protože vždy bude potřeba jisté minimální údržby výrobního zařízení. [3], [16]

Automat

Automat označuje samoobslužný stroj, technické zařízení nebo řídicí mechanismus navržený tak, aby automaticky a spolehlivě sledoval předem stanovený sled operací, nebo reagoval na předem určené instrukce, a to bez přímého lidského zasahování. [1],[6]

Robotika

Robotika je interdisciplinární odvětví inženýrství a vědy, které zahrnuje strojírenské, elektronické a informační inženýrství. Zabývá se návrhem, konstrukcí, provozem a použitím robotů, jakožto i počítačovými systémy pro jejich kontrolu a zpracování informací.

Tyto technologie se používají k vývoji strojů, které mohou nahradit lidskou činnost nebo napodobovat lidské činnosti a pomáhat tak člověku řešit jeho problémy s ulehčováním práce a zvyšováním produktivity práce. [7]

Robot

Robot je programovatelný stroj schopný provádět automaticky složité série akcí. Může být řízen externím ovládacím zařízením nebo je ovládací prvek přímo vložen dovnitř. Roboty mohou být konstruovány tak, aby na sebe braly lidskou podobu, ale převážná většina robotů jsou stroje určené k provádění úkolů bez ohledu na to, jak vypadají. Existuje celá řada typů robotů. Používají se v mnoha různých prostředích a pro mnoho různých účelů. Přestože jsou velmi různorodé v aplikaci a ve formě, pokud jde o jejich konstrukci, sdílejí tři základní podobnosti.

- Všechny roboty mají nějaký druh mechanické konstrukce, rám, formu nebo tvar navržený dosáhnout požadovaného úkolu.
- Roboty mají elektrické komponenty, které pohánějí a řídí strojní zařízení.
- Všechny roboty obsahují určitou úroveň programového kódu. Program určuje rozhodování robota, kdy nebo jak něco udělat. Program je základní podstatou robota. Robot by mohl mít vynikající mechanickou a elektrickou konstrukci, ale pokud by byl jeho program špatně konstruován, jeho výkon bude velmi špatný nebo nemusí vůbec fungovat.

[2],[3],[10]

1.2. Průmyslový robot

Protože je tato práce zaměřena na implementaci průmyslového robota, neměla by chybět stručná definice tohoto pojmu.

Mezinárodní organizace pro normalizaci uvádí definici manipulačního průmyslového robota v normě ISO 8373 následovně: "Automaticky řízený, přeprogramovatelný, víceúčelový, manipulátor programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď fixní na místě, nebo mobilní pro použití v aplikacích průmyslové automatizace." [4]

Typickými aplikacemi průmyslových robotů jsou svařování, lakování, montáž, umístování součástek na desky s plošnými spoji, balení, paletizace, kontrola výrobků a jejich testování. To vše robot provádí s vysokou vytrvalostí, rychlostí a přesností. Průmyslový robot tedy slouží člověku k automatickému zpracování materiálu, energie a informace, případně také jako náhrada lidí v pracovním procesu.

Od ostatních strojů se průmyslový robot obvykle liší možností přizpůsobení různým průmyslovým požadavkům a dále efektořem, upevněným na pohyblivém rameni (efektor je pracovní orgán robotu). Typické průmyslové roboty jsou kloubové s 6 osy pohybu neboli 6 stupni volnosti. Tato konstrukce umožňuje maximální flexibilitu. Šestiosé průmyslové roboty jsou ideální pro obloukové či bodové svařování, manipulaci s materiálem, obsluhu strojů a další. [8], [9]



Obrázek 1-1: Průmyslové roboty FANUC [8]

1.2.1. Části průmyslových robotů

Dle [3] jsou definovány následující části průmyslových robotů:

- podpurná konstrukce a různá vedení: konzoly, příruby, kuličková vedení;
- pohony rotační a posuvné: elektrické, hydraulické a pneumatické, tzv. aktuátory;
- řídicí orgány: periferní počítač, zpracování informace pro řízení pohonu;
- efektořy: montážní nástroje, chapadla, rozprašovací nástavce, svařovací kleště;
- převody mechanické energie;
- převodníky, čidla;
- periferní orgány: paměť, bezpečnostní systém.

1.2.2. Rozdělení průmyslových robotů

Základní rozdělení průmyslových robotů je podle typu jejich použití a podle jejich konstrukce. [7],[12]

Rozdělení průmyslových robotů dle použití:

- **svařovací** – vhodné pro bodové a souvislé svařování;
- **paletizační** - vhodné pro skládání nebo vykládání výrobků na paletách;
- **lakovací** – vhodné pro nástřik tekutých a práškových barev, laků;
- **aplikační** – vhodné pro nanášení lepidel, těsniv, apod.;
- **manipulační** – vhodné pro překládání, nakládání a vykládání pro dopravníky apod.;
- **kontrolní** – kontrola pomocí kamer, laseru, čidel;
- **kolaborativní** – vhodné k mnoha aplikacím (universální, spolupracující a bezpečné roboty).

Rozdělení průmyslových robotů dle konstrukce:

- **Kloubové roboty**

Kloubové roboty s rotačními spoji mají 2 a více otočných ramen. Spoje jsou na rameni připojeny pomocí kloubů, odtud název kloubové. Každý kloub reprezentuje jednu osu a v praxi se lze nejčastěji setkat s šesti kloubovými neboli šestiosými průmyslovými roboty. Spoje jsou obvykle uspořádány v „řetězci“, takže jeden spoj podporuje další spoj řetězci. [9],[12]



Obrázek 1-2: Kloubové roboty [9]

- **Delta roboty**

Roboty delta připomínají svým vzhledem pavouky. Jsou tvořeny z propojených paralelogramů připojených ke společné základně. Jsou schopny velmi jemných, přesných a zároveň rychlých pohybů a proto jsou ideální k nakládání a podávání různých materiálů a drobných součástek. Nejčastěji jsou užívány ve farmaceutickém, potravinářském a elektronickém průmyslu. [12],[13]



Obrázek 1-3: Delta robot [13]

- **Scara roboty**

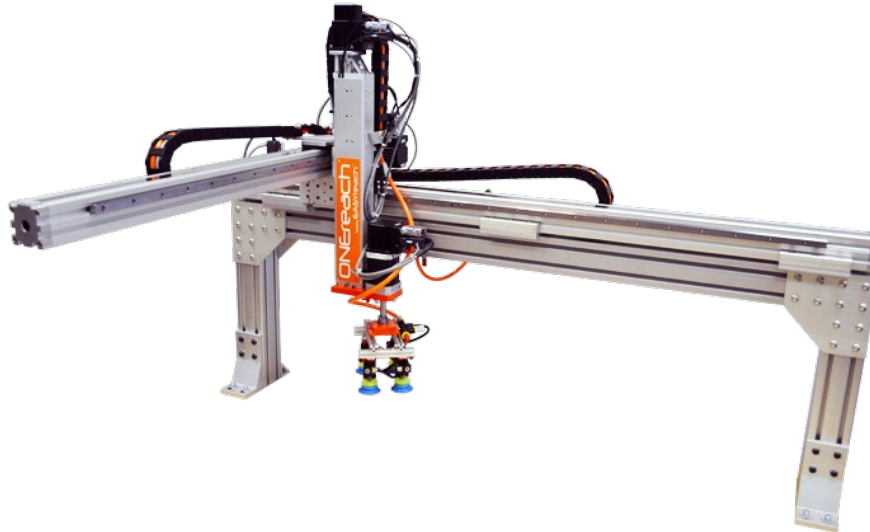
Typické SCARA roboty jsou tvořeny z podstavce a ze dvou paralelních otočných kloubů, které umožňují pohyb v jedné vybrané rovině. Výsuvné chapadlo poté umožňuje velmi rychlou a precizní manipulaci s materiálem či součástkami. [12],[14]



Obrázek 1-4: SCARA robot [14]

- **Kartézské roboty**

Kartézské roboty, jinak nazývané také přímočaré nebo lineární, jsou tvořeny z tří lineárních os, které jsou vzájemně kolmé na pravý úhel. Tato konstrukce jim dovoluje precizní pohyb v osách X, Y a Z. [12],[15]



Obrázek 1-5: Kartézský robot [15]

1.2.3. Parametry průmyslových robotů

Parametry průmyslových robotů jsou rozhodující při jeho výběru a pro jeho užívání na konkrétním pracovišti.

- **Počet os / Stupně volnosti (Number of axes / Degrees of freedom)**

Počet stupňů volnosti robota se obvykle shoduje s počtem os, podle kterých se hlavice robota může pohybovat. Čím více stupňů volnosti, tím větší manipulační možnosti robot má. Nejčastěji se vyrábějí šesti kloubové, tedy šestiosé roboty.

- **Užitečné zatížení / Nosnost (Payload)**

Tento parametr udává, jakou maximální váhu je robot schopen uzvednout. Užitečné zatížení robota se může lišit od zatížení možných efektorů.

- **Dosah (Reach)**

Udává pracovní oblast, kam se robot dostane. Pro jednotlivé osy je dosah udáván buďto v milimetrech nebo ve stupních či radiánech.

- **Rychlost**

Je rychlost, s jakou je robot schopen pracovat. Je udávaná většinou v mm/s, nebo v °/s (rad/s) přičemž je někdy stanovena pro každé rameno (kloub, osu) zvlášť.

- **Zrychlení**

Jak rychle osa může zrychlit. Vzhledem k tomu, že se jedná o omezující faktor, robot nemusí být schopen dosáhnout své stanovené maximální rychlosti pro pohyby na krátkou vzdálenost nebo složitou cestu vyžadující časté změny směru.

- **Přesnost**

Jak blízko může robot dosáhnout velení. Když je měřena absolutní poloha robota a ve srovnání s povelům, je chyba mírou přesnosti. Přesnost lze zlepšit pomocí externího snímání, například systému vidění nebo infračervené. Přesnost se může lišit s rychlostí a polohou uvnitř pracovní obálky a s užitečným zatížením.

- **Cena**

Pořizovací cena je základní cena robota bez nástroje. Je závislá na dodavateli, oblasti distribuce, věrnostní či množstevní slevě aj. Někteří výrobci do základní ceny zahrnují i software, aktualizace softwaru, touchpad nebo stojan. Jedná se tedy pouze o řádovou cenu, která se po nakoupení nástroje a dalších dílčích komponent (senzory, kamery, čidla) může výrazně lišit.

Mezi další avšak zřídka udávané parametry patří: rozměry, bezpečnost, typ pohonu, zdroj energie, opakovatelnost, hluk, programová podpora, řídicí systém atd. [2],[8]

1.2.4. Využití průmyslových robotů

Hlavní aplikace, na které lze průmyslové roboty uplatnit:

- CNC obrábění
- Kovovýroba
- Obaly
- Manipulace s PCB, ICT
- Lící operace
- Nakládání a vykládání
- Zkoušky a kontroly

Na základě zjištěných teoretických a praktických informací byla vytvořena následující tabulka, která uvádí výhody a nevýhody robotů oproti tradičním průmyslovým robotům.

Tabulka 1: Výhody a nevýhody průmyslových robotů [17]

Výhody	Nevýhody
Zvýšení kvality, produktivity a výrobní kapacity	Vysoké počáteční náklady
Vysoký stupeň přesnosti výroby	Nepředvídatelné nebo nadměrné náklady na provoz a vývoj
Stabilizace technologických procesů	Možné bezpečnostní hrozby (při nedodržení bezpečnostních předpisů)
Snížení přímých nákladů na lidskou práci	Závislost na dodávce elektrické energie
Snížení doby cyklu	Nutnost proškolených zaměstnanců
Náhrada monotónní nebo fyzicky namáhavé práce	Zastavení provozu při údržbě či změně konfigurace
Náhrada práce v nebezpečných prostředích	
Provádění úkonů přesahující lidské schopnosti (rychlost, síla, vytrvalost, aj.)	
Výrazné zkrácení provozní doby a výrobních časů	
Uvolnění pracovníků pro převzetí jiných pracovních činností	
Snížení některých pracovních zranění	
Snížení provozních i výrobních nákladů	
Umožnění výroby velkých sérií	
Úspora prostoru	

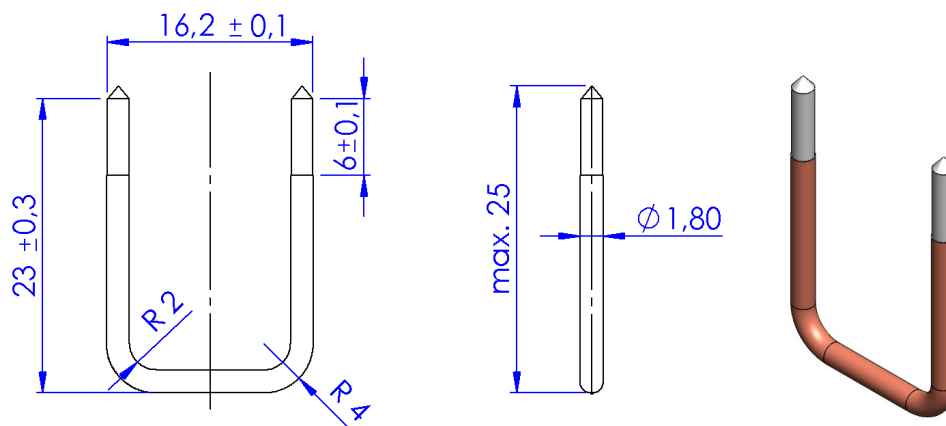
1.2.5. Nástroje - efekторы

Každý robot potřebuje pro vykonávání nějaké operace určitý nástroj, tzv. efektor. Těch existuje velká řada a jedná se například o chapadla, montážní nástroje, rozprašovací nástavce, svařovací kleště atd. Důležitým faktem je, že lze na robot nasadit téměř každý efektor. Ty jsou ve většině případů konstruovány podle normy tak, aby byly kompatibilními s koncovými osami robotů, jež jsou též konstruovány dle normy. Libovolný efektor pak lze použít na libovolného robota. Součástí nástrojů robotů mohou být integrovaná čidla, senzory a dokonce i kamery pro bezpečnou a přesnou práci. [8],[10]

2 Návrh mechaniky zařízení

Základní návrh pracoviště vychází z několika předpokladů. Prvním z nich jsou parametry výsledného produktu, který má být vyráběn. Dalším předpokladem je poskytnutý průmyslový kloubový robot FANUC LR MATE 200iD a fakt, že musí být upevněn na pevné a stabilní základně, která odolá velmi rychlým pohybům jeho ramene. Následně je potřeba brát v úvahu sled jednotlivých operací, které má robot vykonávat. Ten musí být zvolen s ohledem na efektivitu a rychlost výroby.

Od společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. jsem dostal přesné zadání finálního produktu, který má robotické pracoviště vyrábět. Jedná se o „skobu“ z vodiče o průměru 1,8 mm a o rozměrech uvedených na obrázku 2-1 (hodnoty jsou udávány v mm). Oba odizolované konce vodiče musí být pocínované do vzdálenosti 6 ± 1 mm. Pro pocínování vodiče je nejprve nutné odstranit jeho izolaci. Podle zadání tedy bude od pracoviště očekáváno, že ustříhne vodič na požadovanou délku, ohne do požadovaného tvaru, odstraní izolaci a pocínuje na obou koncích vodiče. Vše tak, aby byly dodrženy zadané parametry.

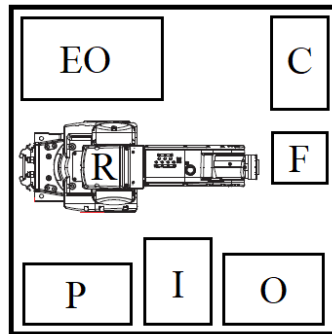


Obrázek 2-1: Technický výkres zadaného výrobku (zhotoveno v programu Solidworks)

Stůl robotického pracoviště byl zhotoven z hliníkových profilů a hliníkové desky, ke které je robot upevněn. Ta představuje pracovní plochu zařízení. Dále je ve spodní části stolu přidána police z masivního dřeva. Na té je umístěna řídicí jednotka robota a zároveň zlepšuje celkovou stabilitu stolu.

Pro jednotlivé operace jako stříh, ohyb, odstranění izolace a pocínování, byla navržena různá zařízení, která poté byla rozmístěna na pracovní ploše tak, aby prodleva mezi operacemi byla minimální a zároveň aby mohl robot bezpečně pracovat ve své oblasti dosahu. Rozložení jednotlivých zařízení znázorňuje obrázek 2.2. Jejich funkce bude blíže popsána v následujících kapitolách.

Koncový efektor robotu a některá další zařízení, jako například pro stříh a ohyb drátu, vyžadují ke své funkci přísun stlačeného vzduchu. Proto ze spodu pracovní desky jsou umístěny rozvody stlačeného vzduchu a pneumatické ventily, které ovládají pneumatické lineární válce. Přísun stlačeného vzduchu obstarává kompresor, který je umístění zcela mimo robotické pracoviště.



- EO ... Elektronické obvody
- C ... Cínovací lázeň
- F ... Zařízení na flux
- R ... Robot LR MATE 200 iD
- P ... Podavač a stříh vodiče
- I ... Zařízení na odstranění izolace
- O ... Zařízení na ohyb

Obrázek 2-2: Rozmístění jednotlivých zařízení na pracovní ploše (pohled shora)

2.1. Robot LR MATE 200 iD

Robot typu LR MATE 200iD společnosti FANUC představuje víceúčelového šestiosého průmyslového robota. Jedná se o kompaktního robota s krátkým ramenem s rozměry a dosahem odpovídajícím přibližně lidské paži. Díky jeho rozměrům je vhodný pro stísněné prostory, nezabírá mnoho místa a lze jej umístit prakticky kamkoli. To je mimo jiné důvod, proč jej společnost P&V Elektronik spol. s r.o. poskytnula pro tyto účely. Jeho užitečná nosnost je 4 kilogramy, což bohatě dostačuje našim potřebám. Pro nejrůznější potřeby je možné přes řídicí jednotku připojit až 48 digitálních vstupů/výstupů. Dále robotické rameno obsahuje integrovaný systém rozvodů stlačeného vzduchu s šesti IN/OUT signály pro případné potřeby pneumatického ovládní koncového efektoru. Ovládní robota je umožněno pomocí univerzálního teach-pendantu. [20],[22]



Obrázek 2-3: Průmyslový robot – typ LR MATE 200 iD [20]

2.1.1. Řídicí jednotka R-30iB

Jednotka R-30iB představuje řídicí hardware pro většinu průmyslových robotů FANUC. Obsahuje vysoce výkonné procesory pro pokročilé řízené pohonné systémy a kompaktní pohonné zesilovače pokrývající všechny robotické osy. Pohonné systémy také umožňují optimální rekuperaci energetických ztrát při brždění. Až 1 GB paměti DRAM představuje úložný prostor pro nepřehledné množství uživatelských programů. Pomocí jednotky je možné připojit až 48 digitálních a 24 analogových vstupně/výstupních signálů.

Řídicí jednotka R-30iB od firmy FANUC obsahuje vlastní patentovaný software s vlastním ovladačem iPendant Touch, pomocí kterého uživatel může jednoduchým způsobem psát nebo upravovat programy a měnit nejrůznější nastavení robota. Tím odpadá starost s nákupem a kompatibilitou některého z licencovaných programů určených k programování robotů. Společnost FANUC dále poskytuje specializovaný počítačový offline simulátor FANUC ROBOGUIDE, který simuluje pohyb samotného robota i aplikační příkazy, čímž výrazně zkracuje dobu vytváření nových konfigurací pohybu. Pomocí tohoto softwaru lze psát a upravovat stávající programy prostřednictvím PC a jejich import do paměti řídicí jednotky. Dále umožňuje import modelů dílů z PC v podobě CAD dat. Rozsáhlá knihovna softwaru pro simulaci robota navíc umožňuje uživatelům vybírat a podle potřeby měnit díly a jejich rozměry. [18],[19],[22]



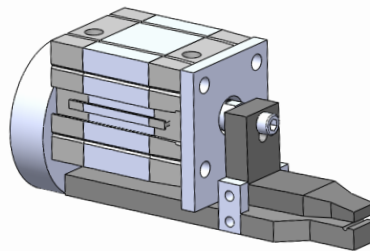
Obrázek 2-4: Řídicí jednotka R-30iB a ovladač iPendant Touch [18]

2.2. Navržená zařízení

Jednotlivá zařízení a jejich rozmístění na pracovišti jsem navrhl ve spolupráci s jednatelem společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. Jednotlivé navržené konstrukční díly jsem si nechával od společnosti, podle mnou vytvořených výkresů v programu Solidworks, vyrobit nebo jsem byl nápomocný při jejich výrobě. Celkovou kompletaci dílčích zařízení, výrobu potřebných elektronických obvodů a zapojení elektroniky jsem již zpracoval samostatně. Na závěr jsem z jednotlivých nakreslených dílů pomocí softwaru Solidworks pro představu vytvořil odpovídající sestavy jednotlivých zařízení.

2.2.1. Koncový efektor

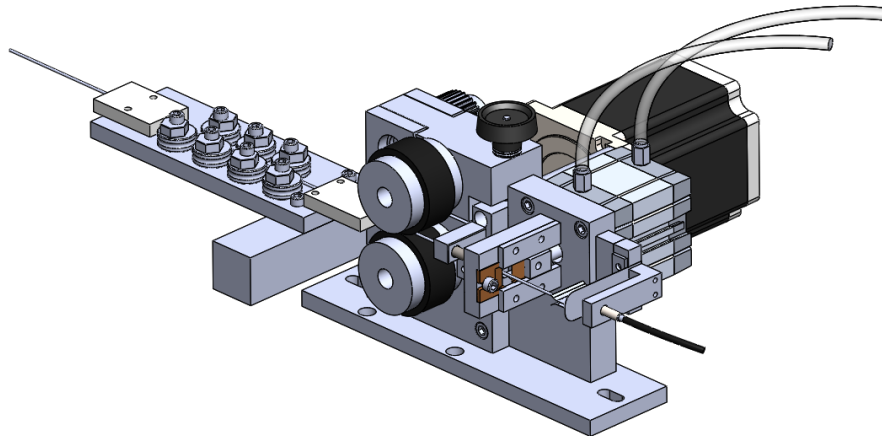
Koncový efektor pro úchop vodiče byl navržen dle geometrických rozměrů výrobku a s ohledem na geometrické rozměry koncové hlavice ramene robota. Hlavním prvkem efektoru je pneumatický lineární válec, který pomocí jednoduchého mechanismu umožní pevný úchop vodiče. Vzduchové přívody válce jsou připojeny k integrovanému pneumatickému ventilu v rameni robota. Ten je ovládán výstupním signálem RO.



Obrázek 2-5: Navržené úchopové kleště robota (sestava v programu Solidworks)

2.2.2. Střih vodiče

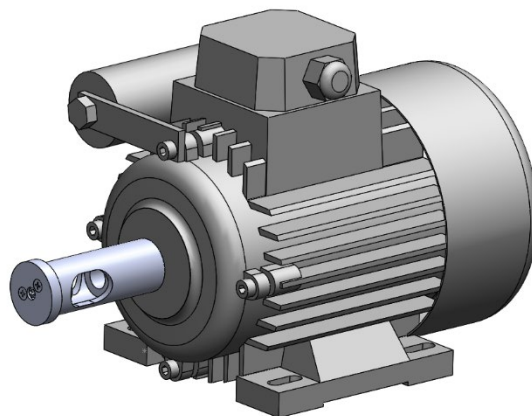
Kritérium při návrhu mechanismu pro podávání a střih drátu bylo podávání naprosto přesné délky vodiče s přesností na desetiny milimetru. O podávání drátu se stará stejnosměrný krokový motor, který pomocí mechanismu dvou gumových rolen navádí vodič mezi protichůdné nože. Předtím je vodič protažen drátotažnou drezurou kuli jeho narovnání. Krokový motor je řízen vstupními pulzy z jednoduchého zapojení časovače NE555. Ten funguje v režimu astabilního klopného obvodu, kdy přivedením kladného napětí na vstup RESET integrovaného obvodu NE555 je generování pulzů zastaveno. Pomocí snímače přiblížení je tedy krokový motor zastavován v momentě, kdy je dosaženo požadované délky vodiče. Tímto způsobem je dosaženo vždy stále stejné délky. Po jejím dosažení je pomocí dalšího pneumatického válce vodič ustřižen v momentě, kdy jej koncový efektor robota uchopí.



Obrázek 2-6: Řešení podavače a stříhu vodiče (sestava v programu Solidworks)

2.2.3. Odstranění izolace vodiče

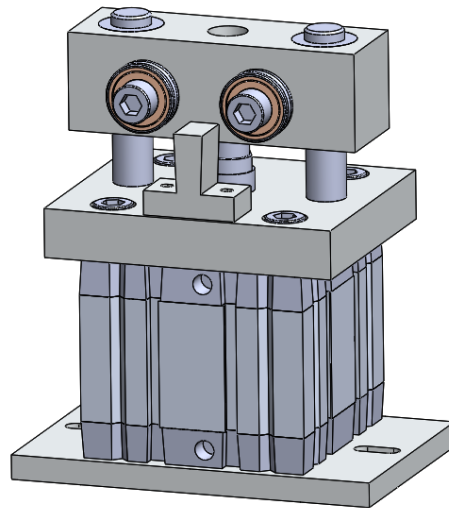
K odstranění izolace z konců vodiče slouží mechanismus tvořený několika drobnými noži z tvrdokovu. Ty jsou uspořádány orientačně do hvězdicového tvaru a vloženy do ústrojí, které je připojeno k jednofázovému asynchronnímu motoru. Přesné uložení a uspořádání nožů je tajemství společnosti. Při vložení vodiče do ústrojí je odstraněna vrstva izolace do požadované vzdálenosti. Délka odstranění izolace je určena pohybem robota.



Obrázek 2-7: Řešení zařízení pro odstranění izolace (sestava v programu Solidworks)

2.2.4. Ohyb vodiče

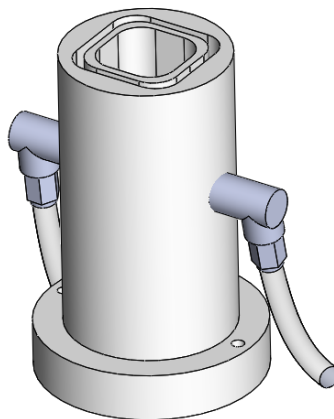
Zařízení navržené pro ohyb vodiče do požadovaného tvaru je složeno ze silného pneumatického válce a dvou upravených ložisek. Po příjezdu efektoru s uchopeným vodičem na příčnou platformu je výstupním signálem k ventilu spuštěn pneumatický válec a vodič je mechanicky ohnut. Zde je zapotřebí velmi přesných pohybů robota, aby bylo dosaženo přesného a symetrického ohybu. Pokud by robot nedosednul přesně na platformu nebo neuchopil drát při stříhu přesně ve středu vodiče, výsledný produkt bude mít chybné rozměry a tvar.



Obrázek 2-8: Řešení zařízení pro ohyb vodiče (sestava v programu Solidworks)

2.2.5. Cínování vodiče

Cínování odizolovaných konců vodiče je posledním krokem výroby. Pro správné pocínování však musí být odizolované konce nejprve ponořeny do kapalného fluxu, který slouží jako pájecí tavidlo. Tím dojde jak k odstranění nečistot, tak ke správnému vzlínání a uchycení cínu. Pokud by konce vodiče nebyly ponořeny do tavidla, nedojde ke správnému cínování a mohlo by dokonce dojít k poničení zbylé izolace vodiče. Poté jsou konce vodiče okamžitě ponořeny do cínovací lázně a následně je hotový výrobek odložen na odkládací pás. Pokud by robot skobu okamžitě odhodil do zásobníku, mohlo by dojít k deformaci cínování na koncích vodiče, proto je vodič odložen opatrně na pohyblivý pás. Zde má cín dostatečnou dobu na správné zatuhnutí. K nanášení tavidla byl navrhnut aparát, který pomocí miniaturního čerpadla o průměru 3 mm, přivádí tavidlo do nádoby, do níž je vodič před cínováním ponořen. Protože kapalný flux se rychle vypařuje, je pomocí tohoto aparátu zajištěna jeho stálá dodávka.



Obrázek 2-9: Řešení aparátu na tavidlo (sestava v programu Solidworks)



Obrázek 2-10: Cínovací lázeň – produkce společnosti P&V Elektronik spol. s r.o.

2.3. Postup výrobního procesu

- 1) Robot kleštěmi uchopí vodič předem nastavené délky, který je vzápětí ustřižen.
- 2) Pomocí dalšího zařízení je odstraněna izolace vodiče do přesně zadané vzdálenosti z obou konců vodiče
- 3) Následně jsou kleště s vodičem nasměrovány na přesnou pozici v zařízení pro ohyb a vodič je ohnut do požadovaného tvaru.
- 4) V dalším kroku jsou konce vodiče ponořeny do pájecího tavidla.
- 5) Namočené konce jsou ponořeny do cínovací lázně, kde dojde k pocínování konců vodiče.
- 6) Výsledný výrobek je položen na odkládací pás.
- 7) Proces pokračuje opět bodem 1).

3 Návrh elektroniky zařízení

Pro jednotlivá zařízení na pracovní ploše jsem navrhl a sestavil potřebnou řídicí elektroniku a provedl následné zapojení s jednotlivými zařízeními. Například spínání pneumatických ventilů nebo obvod generující impulzy pro krokový motor podavače.

3.1. Použité vstupy a výstupy

Jak již bylo zmíněno v kapitole č. [2], k řídicí jednotce robota lze připojit až 48 digitálních a 24 analogových vstupů/výstupů. Výstupy jsou v provedení otevřených kolektorů, kdy na výstup připojují napájecí napětí 24V. Pro chod robotického pracoviště je využito pouze pět vstupů/výstupů. Dva signálové vstupy pro snímač přiblížení a tlakové čidlo, výstup pro ovládání astabilního klopného obvodu NE555 a dva výstupy k ovládání ventilů pneumatických válců pro stříh a ohyb vodiče. Ovládání koncového efektoru robota je zajištěno interními RO signály k integrovanému ventilu v rameni robota.

3.2. Použité elektrické zdroje napětí

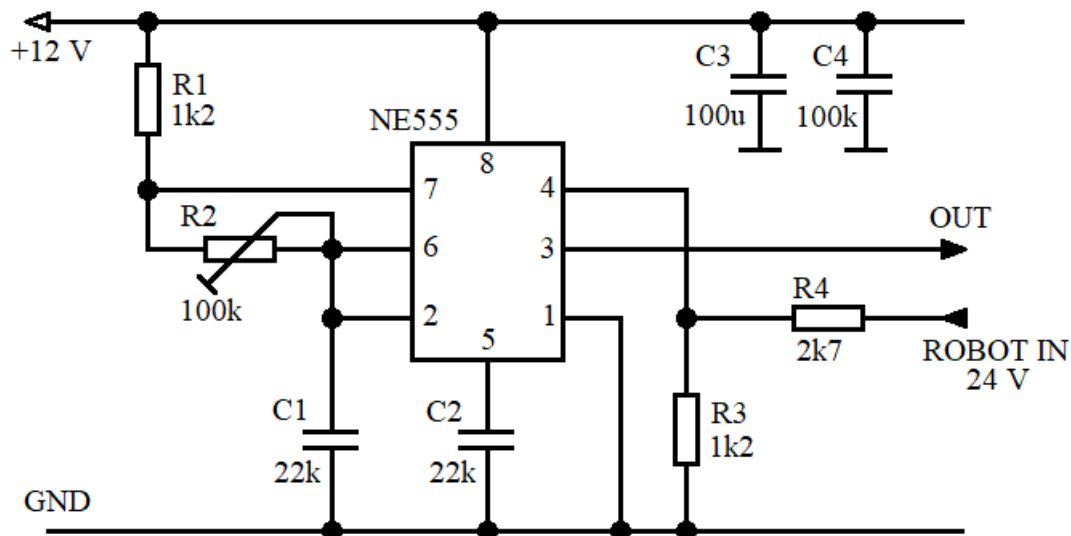
K napájení elektroniky robotického pracoviště, pomínou-li samotnou řídicí jednotku robota, jsou zapotřebí 3 různé úrovně napětí. K napájení řídicí jednotky krokového motoru je zapotřebí 48V zdroj napětí. Dále je využit 24V zdroj napětí pro napájení použitých spínacích relé a k nim příslušných pneumatických ventilů. K napájení klopného obvodu časovače NE555 je využit 12V výstup, který je vyveden z předchozího 24V zdroje. Řídicí jednotka robota, cínovací lázeň a stejně tak i motor s mechanismem pro odstranění izolace jsou připojeny k síti 230V.

3.3. Řízení motoru podavače

K ovládání krokového motoru slouží řídicí jednotka dodávaná s motorem. Tento elektronický modul slouží k řízení pohybů krokového motoru. Umožňuje také například nastavení režimu kroku (mikrokrokování) a nastavení maximálního proudu motoru. Vstupní napěťové impulzy o požadované frekvenci pro chod krokového motoru musí být přivedeny z externího generátoru. K tomuto účelu byl sestaven astabilní klopný obvod s časovačem NE555.

3.3.1. Astabilní klopný obvod s časovačem NE555

Pro vytvoření napěťových impulzů k řízení krokového motoru byl zhotoven jednoduchý astabilní klopný obvod, který využívá základního zapojení integrovaného obvodu NE555. Astabilní klopný obvod je impulzní generátor, který nemá ani jeden stabilní stav a tak se pravidelně periodicky překlápí z jednoho stavu do druhého. Zapojení časovače NE555 je ukázáno na následujícím obrázku. [25]



Obrázek 3-1: Zapojení astabilního klopného obvodu s časovačem NE555

Po zapnutí se na výstupu (pin č. 3 – OUT) objeví vysoká úroveň rovna napájecímu napětí (VCC) a přes rezistory R1 a R2, řazené do série, se začne nabíjet kondenzátor C1. Po nabití kondenzátoru na 2/3 napájecího napětí, vstup č. 6 (THR) způsobí reset klopného obvodu. Výstup (OUT) se překlápí do stavu nízké úrovně a kondenzátor se začne přes rezistor R2 a pin č. 7 (DIS) vybíjet. Vybíjí se do té doby, než na něm napětí klesne až na 1/3 napájecího napětí. V tom okamžiku dojde opět k překlapaní klopného obvodu a tedy k nastavení obvodu zpět do stavu vysoké úrovně. Tento cyklus se neustále opakuje.

Z popisu je jasné, že nabíjecí doba kondenzátoru C1 je ovlivněna velikostí jeho kapacity a velikostí odporů R1, R1. Naopak vybíjecí doba je závislá pouze na velikosti kondenzátoru C1 a rezistoru R1. S tímto zapojením tedy nelze dosáhnout střídy výstupního signálu přesně 1:1. Rezistor R1 nemá na vybíjení vliv, protože kondenzátor se vybíjí přes tranzistor (pin č. 7 – DIS), přesto rezistor R1 nelze v zapojení vynechat, protože při vybíjení kondenzátoru přes kolektor vybíjecího tranzistoru (pin č. 7 – DIS) by nastal zkrat napájecího zdroje.[24],[25]

Doba nabíjení t_{nab} (vysoká úroveň na výstupu) lze vypočítat pomocí vztahu (1):

$$t_{nab} = \ln(2) \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \approx 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \quad [\text{s}; \Omega, \Omega, \text{F}] \quad (1)$$

Doba vybíjení t_{vyb} (nízká úroveň na výstupu) tedy dle vztahu (2):

$$t_{vyb} = \ln(2) \cdot R_2 \cdot C_1 \approx 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad [\text{s}; \Omega, \text{F}] \quad (2)$$

Perioda výstupního signálu je rovna součtu doby nabíjení a doby vybíjení (3):

$$T = t_{nab} + t_{vyb} = \ln(2) \cdot (R_1 + 2R_2) \cdot C_1 \quad [\text{s}] \quad (3)$$

Frekvence výstupního signálu je tedy (4):

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

[24],[25]

Protože použitý krokový motor vyžaduje pro chod frekvenci v řádu stovek Hz až jednotek kHz, byly pomocí předchozích výpočtů vybrány následující hodnoty součástek. $C_1 = 22\text{nF}$; $R_1 = 1200 \Omega$; $R_2 = 100\text{k}\Omega$. Na místo klasického rezistoru byl za R_2 zařazen odporový trimr. Díky tomu je umožněno částečně ovládat frekvenci výstupního signálu, která je nastavena přibližně na hodnotu 1kHz.

Kondenzátory C_2 , C_3 a C_4 slouží k vyhlazení vstupního napětí. Vstup č. 4 – RESET slouží k nulování časovače nezávisle na jeho vstupech. Lze jej tedy využít k zastavení generace impulzů a tedy i k zastavení krokového motoru. Protože je zastavování řízeno výstupním signálem z řídicí jednotky robota, která má napěťovou úroveň výstupů 24V, je ošetřen napěťovým děličem (R_3 a R_4), s jehož pomocí je úroveň vstupního signálu snížena na 12V. Pokud by zde nebyl zařazen napěťový dělič, mohlo by dojít ke zničení časovače.

3.3.2. Snímač přiblížení

Pro dodržení přesné délky vodiče, jenž má být ustřižen, je do zařízení podavače implementován snímač přiblížení. Jedná se o bezkontaktní indukční snímač NBB4 typu PNP NO, který umožňuje bezkontaktně detekovat přiblížení elektricky vodivých materiálů. Čidlo je připojeno na jeden z digitálních vstupů řídicí jednotky robota. Při dosažení požadované délky se čidlo aktivuje a pomocí programové funkce je sepnut výstupní signál na RESET obvodu časovače NE555, který ukončí generaci impulzů a tím zastaví krokový motor.

3.4. Tlakové čidlo

Tlakové čidlo bylo přidáno z bezpečnostního důvodu. V případě přerušení dodávky nebo poklesu tlaku stlačeného vzduchu do pneumatických válců by vinou nedostatečné síly k ustřížení vodiče mohlo dojít k poškození zařízení. Pokud nedojde k správnému ustřížení vodiče, robot nedostává žádnou zpětnou vazbou informaci, že k ustřížení došlo, tudíž by normálně pokračoval dál v chodu. Tím by byl neustřížený vodič tažen stále přímo ze zásobníku podavače a skrz všechna následující zařízení na pracovní ploše. Při zachycení vodiče o kterékoli z nich by tedy mohlo dojít k poškození některého ze zařízení, případně k poškození samotného robota.

3.5. Ostatní zařízení

Veškerá potřebná elektronická zařízení a obvody jsou uloženy v uzavřeném boxu (příloha C) na pracovní ploše avšak mimo pracovní zónu robota. Jsou zde uloženy elektrické zdroje napětí, řídicí jednotka krokového motoru, tlakový snímač, odvod časovače NE555, spínací relé pro pneumatické ventily a řídicí obvod motorku dopravního pásu. K tomuto boxu je také přiveden konektor z řídicí jednotky robota, ke kterému jsou připojeny veškeré vstupy a výstupy. Protože řídicí jednotka krokového motoru a elektrické zdroje napětí produkují velké množství tepla, nachází se zde proto ventilátor, který odvádí teplý vzduch.

Pneumatické ventily i s rozvody jsou umístěny ze spodu pracovní plochy. Vzduchové hadice jsou poté vyvedeny přímo k pneumatickým válcům skrz desku stolu. Pod pracovní deskou je také umístěna nádoba s kapalným fluxem, ze které je čerpadlem vháněn do aparátu s nádobkou. Čerpadlo je připojeno ke zdroji napětí 12V, nacházející se v uzavřeném boxu.

Posledním zařízením je samostatná cínovací lázeň, v níž je roztavený cín zahřátý na teplotu přibližně 330°C. Lázeň je vyráběna společností P&V Elektronik spol. s r.o., její výroba však není zohledněna v náplni této diplomové práce.

4 Programové řízení

Jak již bylo nastíněno v úvodu této práce, robot musí vykonávat postupný sled operací a to: stříhání drátu, jeho odizolování, ohyb a následné cínování konců drátu. Mojí představou je, že robot splní požadovaný úkol následovně. Při startu programu robot vyjede ze své referenční polohy k podavači drátu. Během tohoto pohybu sepne výstup k motoru pro podání drátu. Jakmile drát dosáhne požadované délky, podavač je zastaven. Dokud nebude drát dostatečně dlouhý, podmínka v programu neumožní robotu jeho uchopení. O splnění podmínky se stará snímač přiblížení. Pokud drát dosáhne požadované délky, podmínka je splněna a robotu je umožněno uchopení drátu pomocí efektoru. Následně je ustřižen drát pomocí výstupního signálu k prvnímu pneumatickému ventilu. Robot bude dále pokračovat k mechanismu, kde budou odizolovány oba konce drátu na požadovanou délku. Během těchto pohybů je opět vyslán signál k podavači, aby byl drát již připraven na další cyklus. Následujícím krokem robotu je přesun k mechanismu pro ohyb drátu. Jakmile bude robot na konkrétní pozici, bude proveden ohyb drátu sepnutím druhého pneumatického ventilu. Poté sérií pohybů následuje ponoření do fluxu a do cínovací lázně. Hotová drátová skoba je poté položena na dopravník a celý proces se opakuje. V programu bude nastavený určitý počet opakování a po jejich vykonání robot najede zpět do své původní referenční pozice.

Pro automatický běh programu je nutné, aby robot byl ve své přednastavené referenční poloze. Do této polohy robot sám zajede po skončení programu nebo je nutné jej do této polohy přesunout v manuálním režimu.

4.1. Uživatelské rozhraní FANUC

Velkou většinu robotů a stejně tak i roboty společnosti FANUC lze programovat variantou on-line nebo off-line. Off-line programování probíhá za pomoci PC a specializovaného softwaru. V případě společnosti FANUC je to software ROBOGUIDE, určený k 3D simulaci pohybu samotného robota a aplikačním příkazům včetně jeho okolí.

On-line programování umožňuje přímou interakci člověka s robotem. Programování provádí uživatel přímo na pracovišti pomocí uživatelského rozhraní tzv. teach-pendantu, který plní funkci ovládacího panelu. Výhodou této metody programování je znalost trajektorie robota a práce v reálném prostředí s možností okamžité kontroly funkčnosti programu. Nevýhodou naopak může být poměrně dlouhá doba programování u složitějších manipulačních pohybů a především odstávka pracoviště, která způsobuje ztrátu na výrobě.

Teach-pendant zprostředkovává programování skrze klávesnici s barevným displejem. Ergonomický tvar umožňuje pohodlné držení v ruce a dovoluje přímé ovládání pohybů robotu pouhým stiskem několika funkčních tlačítek. Displej plní funkci jako u běžného počítače. Poskytuje možnost zobrazení více oken, díky čemuž dochází ke značnému zlepšení multitaskingu. Teach-pendant umožňuje monitorování i programování vstupů a výstupů, nastavení pracovních parametrů, zobrazení systémových informací a případnou úpravu nebo i přímý zápis technologického programu v editoru.

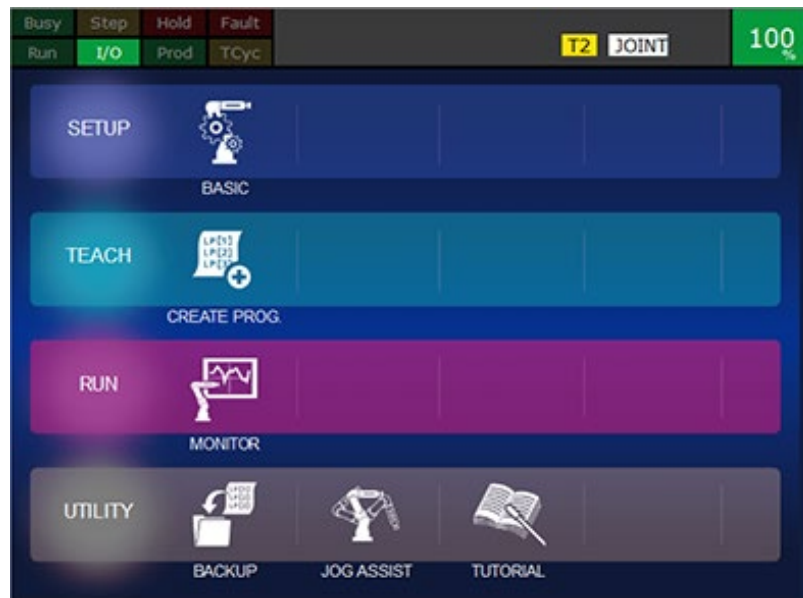
Důležitou částí jsou také bezpečnostní prvky a opatření, ze kterých se na programovacím pendantu vykytují bezpečnostní tlačítka, bez jejichž stlačení nelze s robotem dále operovat a tlačítko pro centrální zastavení.

4.1.1. On-line programování pomocí teach-pendantu

On-line programování, jak již bylo zmíněno, využívá k navádění robota uživatelského rozhraní teach-pendantu. Programování pohybů je prováděno tzv. postupným určením. Rameno robotu je postupně naváděno operátorem do jednotlivých pozic v prostoru, kde má být následně vykonána určitá akce. To znamená, že pohybují ramenem robotu z bodu do bodu přesně tak, jak je vyžadováno, aby robot následně pracoval. Navádění je prováděno pomocí funkčních tlačítek umístěných na pendantu. Orientace nástroje a souřadnice požadované pozice, kterou může obsluha nastavovat libovolně dlouho, se pak pomocí určeného tlačítka uloží do paměti. V paměti je pak zaznamenána určitá posloupnost údajů o poloze a orientaci, ke které se před spuštěním robotu v automatickém režimu musí přiřadit údaje o způsobu propojení jednotlivých bodů v prostoru. Pomocí těchto dodatečných údajů je řídicí systém schopen dopočítat skutečnou trajektorii ramene robotu. Systém ze známých počátečních a koncových pozic dopočítává potřebnou změnu natočení jednotlivých ramenních kloubů. Při pohybech typu CNT však trajektorie mezi jednotlivými pozicemi nemusí být obsluze dostatečně známá, což lze považovat za nevýhodu. Naopak výhodou je pak velmi jednoduchá a přirozená cesta. Při programování je umožněno velmi přesného nastavení jednotlivých parametrů polohy, orientace a možnost jejich vizuální kontroly.

Programování pomocí teach-pendantu však neumožňuje jen zaznamenávání požadovaných bodů podél dráhy. Důležitou vlastností je také vkládání mnoha dalších užitečných programovacích doplňků a funkcí. Například používání programových proměnných, vkládání podmínek, používání vstupů a výstupů, testování prováděného programu, zobrazení

uživatelských a chybových zpráv, výzvy, nabídky, zobrazení a úpravu polohových dat a v neposlední řadě provádění operací se soubory (jako kopírování, mazání, přenos atd.).



Obrázek 4-1: Ukázka uživatelského rozhraní FANUC iPendant Touch

Na předchozím obrázku lze vidět úvodní obrazovku uživatelského rozhraní FANUC, která se objeví na teach-pondantu po zapnutí řídicí jednotky. Rozhraní je velmi jednoduché a lze jej ovládat buď dotykem, nebo pomocí teach-pondantu. Při prvním startu robota je nutné projít prvotním nastavením robota a definovat jeho první rámec a nástroj. Poté je kdykoli možné v sekci SETUP, změnit nebo definovat nové uživatelské rámce, nové nástroje apod. V sekci TEACH lze vytvořit nové nebo upravit stávající programy. K stejnému účelu slouží tlačítko Edit na teach-pondantu. Vytvořené programy je poté možné monitorovat v části RUN. Zde je k dispozici 3D simulace dráhy pohybu robota, bezpečnostních zón, nástrojů a rámců. Také nabízí grafický editor. Poslední skupina UTILITY obsahuje například zálohu programů a celého systému robota, dále jednoduchý návod na práci s robotem a mnoho dalších funkcí.

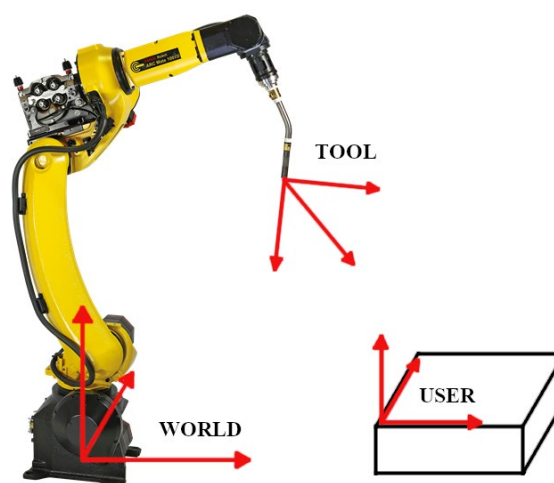
4.2. Souřadnicové systémy

Jedním z nejdůležitějších požadavků všech robotů pro správné fungování programu je přesná definice jeho polohy vzhledem k pracovišti. Ta je definována některým z existujících souřadnicových systémů. V průmyslových robotech, včetně robotů společnosti FANUC, je široce používán kartézský souřadnicový systém. V systémech robotů jsou dále definovány souřadné systémy, které určují vztahy robota k jeho fyzickému pracovišti.

WORLD FRAME – někdy také označovaný BASE nebo WORLD REFERENCE, je trvale definovaný kartézský souřadnicový systém robota. Jedná se o referenční systém vycházející z mechanické konstrukce robota. Počátky souřadnic X, Y, Z jsou definovány v patě robota a slouží jako základ pro ostatní souřadnicové systémy. Světovou referenční rovinu může využít programátor i při psaní programu, pokud není potřeba využití jiného souřadného systému.

USER FRAME – je uživatelem definovaný referenční rámec souřadnic vztažený ke světovému souřadnému systému. Ve většině případů je totiž pro uživatele výhodnější vytvořit vlastní referenční rámec souřadnic pro danou pracovní plochu, nežli použití světového souřadného systému. Uživatelské referenční rámce jsou množiny kartézských souřadnic, které popisují vztah mezi středem nástroje robota a pracovním prostorem. Uživatelských referenčních rámců lze vytvořit hned několik a v programu pak dle potřeby mezi jednotlivými rámci jednoduše přepínat, aby odpovídali prostoru pracovních buněk.

TOOL FRAME – je uživatelem definovaný souřadný systém, který udává umístění středového bodu nástroje. S pohybem středového bodu nástroje se zároveň pohybuje definovaný rámec souřadnic. Tohoto rámce lze využít například při svařování kruhového tvaru, kde je velmi důležité udržovat hořák ve správné orientaci vzhledem ke sváru.



Obrázek 4-2: Souřadnicové systémy

4.3. Řízení pohybu

Při řízení pohybu robota během programování je možno vybrat ze tří nabízených režimů a uživatel si jednoduše zvolí metodu, která mu dovolí nejsnáze dosáhnout potřebné pozice.

JOINT MODE – jedná se o osově specifický režim pohybu, kdy se každá jednotlivá osa pohybuje nezávisle v kladném nebo záporném směru. U typického průmyslového robota se šesti osami lze tedy každou osu pohybovat samostatně. Ke každé ose náleží obvykle dvě klávesy na pendantu. Jedna pro pohyb ve směru kladném, druhá pro pohyb v záporném.

WORLD MODE – je režim pohybu v kartézských souřadnicích. Protože programování v režimu JOIN je značně nepraktické, je programování prováděno v režimu kartézském. Řídicí systém souřadnice automaticky převede na natočení jednotlivých os. Např. při pohybu ramene ve směru osy X robot koordinuje pohyby několika os a současně udržuje své Y a Z polohy.

TOOL MODE – je podobný režimu WORLD s výjimkou toho, že je použit souřadnicový rámec nástroje, díky čemuž se při pohybu robota pohybuje středový bod nástroje.

4.3.1. Typy pohybů robota

Stejně jako existují různé metody řízení pohybu robota během programování, existují také různé možnosti pohybu robota při samotném běhu programu. Jednotlivé pohyby je však zapotřebí definovat pomocí příkazů. Společnost FANUC má definované tři a u všech je zapotřebí definovat počáteční a koncový bod. Počáteční bod je obvykle koncovým bodem předchozího pohybu.

JOINT – je nejrychlejší způsob pohybu, protože vede rameno robota nejrychlejší cestou do koncového bodu. Tento režim je nejrychlejší, protože není nutné, aby robot koordinoval pohyby všech os. Nevýhodou je však skutečnost, že dráhu robota nelze předvídat, protože nejrychlejší cesta obvykle nemusí být tou nejkratší.

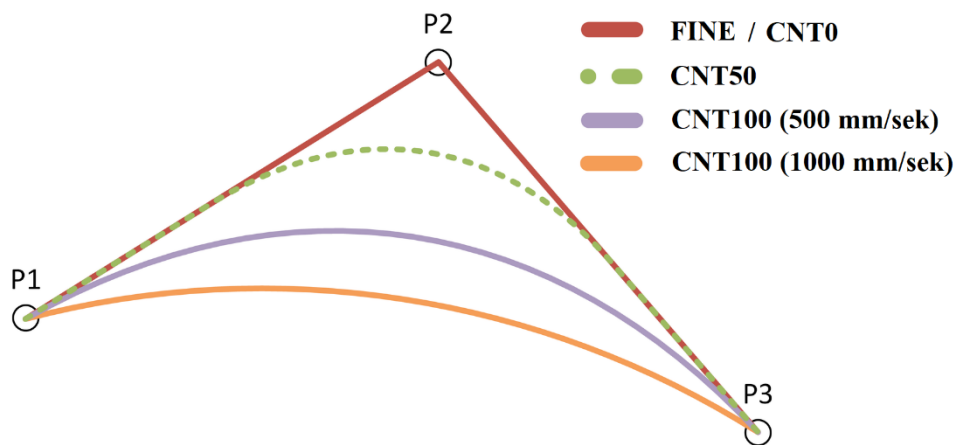
LINEAR – je lineárním pohybem, který využívá nejkratší cesty z počátečního do koncového bodu.

CIRCULAR – se používá tehdy, když se pohyb robota musí řídit po obloukové nebo kruhové dráze. Tento pohyb však nelze popsat jen dvěma body. Musí být definován i pomocný bod, který dráhu jasně určí.

Dále lze určit, jakým způsobem se bude robot pohybovat při dosažení naprogramovaných bodů. Existují dvě možnosti: FINE a CNT.

FINE – je režim, při kterém se robot zastaví přesně v každém bodě, než se přesune na další.

CNT – je kontinuální režim, který robotu umožní projít zadaný bod bez zastavení. V tomto režimu je zapotřebí nastavit hodnotu CNT od 0 do 100. Hodnota CNT100 znamená, že se robot pokusí udržet zadanou rychlost během pohybu mezi body. Pokud ale bude mezi body velký úhel, robot z důvodu udržení rychlosti roh „ostříhne“. Proto je v tomto režimu velmi důležité správné nastavení hodnoty CNT jednotlivých pohybů.



Obrázek 4-3: Pohyb FINE a různé velikosti pohybu CNT

4.4. Programy na pozadí (Background program)

Background programy nebo také programy na pozadí jsou programy složené pouze ze smíšených logických příkazů a podmínek (např. IF (DI[1] AND DI[2]), DO[3] = (ON)). To znamená, že nelze používat instrukce pro pohyb, příkazy větvení (skok, označení, volání, spuštění, atd.), časovače, instrukce WAIT nebo makra. V podstatě je tedy program na pozadí omezen pouze na nastavení registrů, I/O a systémových proměnných. Jediný podmíněný příkaz, který lze použít, je smíšený logický příkaz IF. To vše z důvodu, aby byl program jednoduchý a zle jej rychle provést. Tyto programy jsou neustále skenovány na pozadí, zatímco robot pracuje. Background programy ignorují všechny E-Stopy, alarmy, atd.

5 Řešení programu

Výsledný program robota jsem sestavil tak, aby nejlépe vyhovoval časovým nárokům na výrobu produktu. Z návrhu pracovní plochy a rozmístění dílčích zařízení se odvíjí výsledné řešení programu.

5.1. Stavba programu

Aby byl program robota přehledný, dynamický a snadno laditelný, byl rozdělen do několika dílčích podprogramů. Hlavní program poté volá jednotlivé podprogramy a postupně je vykonává. Každý podprogram je zodpovědný pro jednu zvolenou činnost. Jeden podprogram tedy vykonává stříh vodiče, druhý vykonává odizolování, jiný ohyb atd. Při případné úpravě pohybů robota, ladění nebo jiné úpravě tedy není nutné zasahovat do celého programu.

Před samotným voláním je však zapotřebí jistá inicializace. V hlavičce hlavního programu je tedy nejprve nastaven příslušný rámec pracovní plochy (USER FRAME), rámec pracovního nástroje (USER TOOL) a nastavena odpovídající zátěž koncového efektoru (PAYLOAD). Jako pracovní rámec byl vybrán základní WORLD FRAME, protože je základna robota upevněna na stejné pracovní ploše. Nastavení zátěže je zde z důvodu, aby nedocházel ke zbytečnému proudovému namáhání motorů ramene. Zátěž byla nastavena na hmotnost koncového efektoru. Protože samotný produkt váží pouze několik gramů, nemá tedy na nastavení zátěže žádný vliv. Rychlost pohybu robota byla při postupném ladění programu ponechána na 50% maximální rychlosti. Jednak z bezpečnostních důvodů ale také proto, že jisté pohyby robota není možné urychlit. Jedná se například o odstraňování izolace a cínování konců vodiče. Rychlost jednotlivých pohybů lze nastavovat přímo v programu při zápisu polohy ramene robota a to buď v procentech, nebo milimetrech za sekundu.

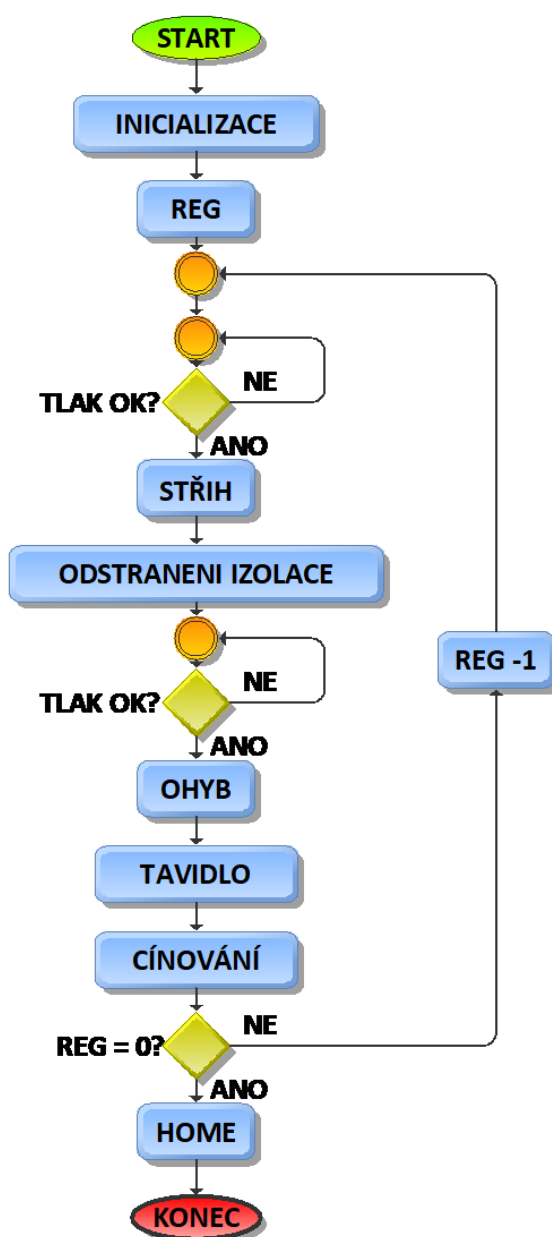
Za hlavičkou programu je dále definován registr pro počet opakování cyklů. V tomto registru je zapsána hodnota (např. 10000), od které je na konci každého cyklu odečtena jednička. Při dosažení nulové hodnoty registru je cyklus ukončen, rameno zajede do své referenční pozice (HOME) a program je ukončen.

Následuje zápis funkce, která využívá stavu tlakového senzoru. Pomocí jednoduchého zápisu funkce IF je tedy dosaženo bezpečnostního opatření. Funkce se opakuje před každým podprogramem, který využívá pneumatických ventilů.

K volání podprogramů slouží funkce CALL. Podle sestavení pracovní plochy jsou postupně volány podprogramy: *střih – odstranění izolace – ohyb – tavidlo – cínování*. Stavba hlavního programu je vyobrazena vývojovým diagramem v následující kapitole.

5.2. Vývojový diagram programu

Stavbu programu lze pro představu popsat pomocí vývojového diagramu. Po startu programu proběhne inicializace a je nastaven počet opakování zápisem hodnoty do registru. Po kontrole tlaku vzduchu jsou vykonávány dílčí části programu. Před koncem cyklu je vyhodnocována nulová hodnota registru opakování. Po dosažení nulové hodnoty je program ukončen.



Obrázek 5-1: Vývojový diagram programu (zhotoveno v ArisExpress)

Samotný zápis hlavního programu vypadá následovně.

```
1:  UFRAME_NUM=0
2:  UTOOL_NUM=2
3:  PAYLOAD[3]
4:
5:  R[53:Pocet_kusu_PRG6]=10000
6:  LBL[1]
7:  R[53:Pocet_kusu_PRG6]=R[53:Pocet_kusu_PRG6]-1
8:
9:  WAIT DI[102:TLAK_CIDLO]=ON
10: CALL PRG6_STRIH
11:
12: CALL PRG6_ODISOL
13:
14: WAIT DI[102:TLAK_CIDLO]=ON
15: CALL PRG6_OHYB
16:
17: CALL PRG6_FLUX
18:
19: CALL PRG6_CIN
20:
21: IF R[53:Pocet_kusu_PRG6]>0,JMP LBL[1]
22:
23: CALL L_HOME
[END]
```

Obrázek 5-2: Zápis hlavního programu

První 3 řádky zápisu na obrázku 5-2 představují inicializaci programu. Využití předdefinovaného uživatelského rámce USER FRAME, rámce nástroje USER TOOL a účinného zatížení robota PAYLOAD.

Na řádce č. 5 je zapsán počet opakování. Do registru R[53] je zapsána hodnota 10000. Od této hodnoty je po každém cyklu odečítána jednička a nová hodnota je opět uložena do registru R[53]. Odečítání a nový zápis do registru je realizováno zápisem na řádce č. 7.

Řádky 9 – 19 tvoří tělo programu. Pomocí funkce CALL jsou volány dílčí podprogramy (PRG6_STRIH, atd....).

Smyčka programu je vytvořena zápisem na řádce č. 21. V momentě, kdy program přejde na tento řádek, je vyhodnocována podmínka nulového registru R[53]. Při nenulovém registru program pomocí funkce JMP LBL[1] přeskočí na řádek s odpovídajícím označením, tedy na řádek č. 6, kde se nachází zápis LBL[1]. Od tohoto řádku je dále znovu vykonáván program. Při splnění podmínky nulového registru je program ukončen.

Před ukončením programu je volán podprogram L_HOME, který zavede robota zpět do referenční pozice, ze které byl uveden do chodu. Samotný konec programu je proveden zápisem [END]. Celá konstrukce funkčního programu výrobního procesu robotického pracoviště je uvedena v příloze A.

5.3. Vstupy a výstupy

Využívání signálů ze vstupů a výstupů je nedílnou součástí programu. Jak již bylo řečeno v kapitole č. [2], celkový počet použitých signálových vstupů / výstupů je 5. Dva vstupy a tři výstupy. Vstupní a výstupní signály jsou do řídicí jednotky přivedeny pomocí společného konektoru. Podle připojení na piny konektoru poté nesou svá označení. Např. pokud je zařízení připojeno na pin konektoru č. 25, jeho označení je DI[125].

Pokud je vezmeme postupně v pořadí, jak jsou ve zhotoveném programu použity, prvním z nich je vstupní signál z tlakového senzoru. Ten je zapojen do digitálního vstupu č. 2. Podle zapojení na konektoru tedy nese označení DI[102]. Viz předchozí kapitola je tento vstup použit v podmínce hlavního programu jako bezpečnostní opatření při ztrátě tlaku vzduchu.

Následuje zapojení čidla přiblížení. To je zapojeno do digitálního vstupu č. 1. Pomocí podmínky je vyhodnocován stav vstupu DI[101]. Na základě jeho stavu je spínán výstup DO[103]. Signál z výstupu DO[103] je přiveden na RESET časovače NE555 a zodpovídá za zastavování krokového motoru podavače.

```
1: IF (DI[101:CIDLO]=ON),  
    DO[103:PODEJ_DRAT]=(OFF)  
[END]
```

Obrázek 5-3: Příklad zápisu vyhodnocování podmínky DI/DO

Dalším v pořadí je výstup DO[102]. Ten vede na spínací relé prvního pneumatického ventilu a obstarává tedy stříh vodiče. Obdobně je využit výstup DO[101], který je aplikován na relé druhého ventilu a zprostředkovává tedy funkci ohybu.

Dále je v programu využito výstupních signálů pro otevírání a stisk kleští koncového efektoru. Tyto výstupy však nejsou připojeny přes konektor, nýbrž využívají speciální vnitřní výstupní signály RO. Pomocí těchto RO signálů lze ovládat pneumatické ventily integrované v rameni robota.

5.4. Využití programu na pozadí

Program na pozadí je využit pro podavač vodiče. Právě zde je sestavena podmínka, pomocí které je zastavován krokový motor podavače v momentě aktivování snímače přiblížení. Tím, že je tato funkce obsažena v programu na pozadí, je umožněno zastavování motoru podavače kdykoli během chodu hlavního programu. Je tím také dosaženo zastavení robota v případě, že dojde zásobník vodiče.

5.5. Zabezpečení

Bezpečnost obsluhy a zabezpečení správného a bezpečného chodu robota je nejvyšší prioritou při výrobě. Bezpečnostní prvky můžeme rozdělit do dvou skupin. V první části jsou zahrnuty prvky, které zajišťují spolehlivý chod programu a výroby. S jejich pomocí je hlídána činnost robota v konkrétních částech programu. Můžeme sem zahrnout například použité bezpečnostní opatření tlakového čidla nebo hlídání délky drátu. Jedná se o programové zápisy, kdy se vyhodnocuje stav podmínek v určitých částech programu. Pokud podmínka nebude splněna, robot buď bude, nebo nebude pokračovat v chodu v závislosti na podmínce.

Druhou skupinou jsou bezpečnostní opatření samotného robota a řídicí jednotky, které zodpovídají za bezpečnost obsluhy, nástrojů a samotného robota. Společnost FANUC využívá integrovaný softwarový systém DCS (Dual Check Safety). Pomocí Teach-pendantu nebo pomocí softwaru ROBOGUIDE lze namodelovat a vizualizovat bezpečnostní zóny. Lze tedy vytyčit hranice dovoleného pracovního prostoru robota nebo například zahrnout do modelu příslušná zařízení, se kterými robot pracuje. Dalším takovýmto systémem je detekce kolizí HSCD (High Sensitivity Collision Detection), který minimalizuje škody vzniklé v případě kolize nebo funkce Speed Check kontrolující provozní rychlost. [21]

6 Technicko-ekonomický posudek

Poslední částí této práce je souhrn informací o technickém řešení robotického pracoviště a posouzení kompletního projektu jak po časové, tak po finanční stránce. Na závěr je stanovena teoretická doba návratnosti investice do zařízení.

6.1. Časový plán projektu

V časovém plánu jsou zahrnuty posloupnosti provedení jednotlivých činností, které vedou k úspěšnému sestavení robotického pracoviště a jeho uvedení do provozu. Jednotlivé činnosti jsou vyobrazeny pomocí následující tabulky. Prvním krokem v projektu je technický návrh zařízení. Podle návrhu je následně nakoupen potřebný materiál. Poté následují úkony výroby dílčích částí robotického pracoviště a jeho následné sestavení, programování, ladění a uvedení do provozu. Do celkové časové náročnosti nejsou zahrnuty časy spojené s dopravou materiálu. Například doba dopravy samotného robota od data zakoupení se pohybuje okolo 4 měsíců.

Tabulka 2: Časová náročnost dílčích činností výroby robotického pracoviště

Pořadí	Název činnost	Časová náročnost
1	Návrh technického zařízení	16 hodin
2	Nákup materiálu, dílů, robota	5 hodiny
3	Sestavení základny robotického pracoviště	6 hodin
4	Upevnění robota na základnu	1 hodina
5	Výroba dílů koncového efektoru	10 hodin
6	Sestavení koncového efektoru	1 hodina
7	Výroba dílů zařízení podavače	48 hodin
8	Sestavení podavače	16 hodin
9	Výroba dílů zařízení pro odstranění izolace	16 hodin
10	Sestavení zařízení pro odstranění izolace	8 hodin
11	Výroba dílů zařízení pro ohyb vodiče	16 hodin
12	Sestavení zařízení pro ohyb vodiče	8 hodin
13	Výroba dílů zařízení pro tavidlo	3 hodiny
14	Sestavení zařízení pro tavidlo	2 hodiny
15	Upevnění všech zařízení na pracovní ploše	8 hodin
16	Zhotovení elektronických obvodů	16 hodin

17	Zapojení elektroniky	16 hodin
18	Zapojení rozvodů stlačeného vzduchu	2 hodiny
19	Ověření funkce zařízení, nastavení	2 hodiny
20	Sestavení programu robota	16 hodin
21	Ladění + zkušební provoz	4 hodiny
22	Uvedení do provozu	1 hodina
Celková časová náročnost projektu		221 hodin

Přibližná časová náročnost projektu je 221 hodin. Tato hodnota odpovídá přibližně 28 pracovním dnům. Zhotovení robotického pracoviště tedy trvá přibližně 1,5 měsíce.

6.2. Počáteční investice

Do celkové počáteční investice je zahrnuta cena za robota, jednotlivá elektronická zařízení, materiál potřebný ke konstrukci zařízení a také práce operátora. Jednotlivé položky jsou vypsány v následující tabulce.

Tabulka 3: Finanční náročnost robotického pracoviště

Díl	Přibližná cena
Robot LR Mate 200iD včetně řídicí jednotky R-30iB a příslušenství	603 200 Kč
Sestava pracovní základny (hliníkové profily + deska základny)	18 200 Kč
Krokový motor podavače	2 400 Kč
Motor pro odstranění izolace	9 100 Kč
Pneumatické válce a ventily – stříh, ohyb, úchopové kleště	8 100 Kč
Cínovací lázeň	20 800 Kč
Elektrické zdroje – 24V, 48V	1 200 Kč
Elektronické součástky (časovače NE555, pasivní obvodové součástky, snímač přiblížení, tlakový snímač)	1 800 Kč
Stavební materiál (mechanické části, elektrické spoje, pneumatické rozvody, apod.)	3 350 Kč
Práce (odhad z předpokládané doby sestavení robotického pracoviště)	60 000 Kč
Celková finanční náročnost projektu	728 150 Kč

Celková odhadovaná cena projektu je **728 150 Kč**. Protože v hale společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. jsou integrovány rozvody stlačeného vzduchu, není potřeba do nákladů zahrnovat cenu za nový kompresor.

6.3. Posouzení efektivity technického řešení

Důležitým parametrem pro posouzení efektivity zařízení je porovnání výrobní rychlosti robota a člověka. Je tedy zapotřebí zjistit, kolik lidské pracovní síly lze robotickým pracovištěm nahradit. Následující tabulka porovnává doby potřebné ke zhotovení jednoho kusu výrobku, pokud činnost provádí robot a pokud operátor.

Tabulka 4: Porovnání doby trvání dílčích činností (robot/operátor)

Činnost	Průměrná doba trvání činnosti (Robot) [s]	Průměrná doba trvání činnosti (Operátor) [s]
Střih vodiče	4	5
Odstranění izolace	8	25
Ohyb vodiče	2	15
Cínování	7	10
Celkový čas procesu	21 s	55 s

Z porovnání celkových časů plyne, že robot pracuje téměř 3x rychleji než operátor. Při započítání případných přestávek operátora na pití, jídlo a toaletu, lze pro jednoduchost tvrdit, že robot pracuje 3x rychleji. Na jedné směně tedy robot nahradí 3 pracovníky.

6.4. Stanovení doby návratnosti investice

Přestože se počáteční náklady za robotické pracoviště mohou zdát na první pohled vysoké, hlavním důvodem k investici je úspora a to především v podobě úspory nákladů na pracovní síly, proto byla doba návratnosti PP (Payback Period) počítána z úspory ve mzdových nákladech. V tomto případě udává počet let, za které se investice vyrovná úsporám.

$$PP = \frac{PI [Kč]}{ÚMN [Kč/rok]}$$

Kde:

PP je doba návratnosti (Payback period),

PI jsou veškeré pořizovací náklady na investici,

ÚMN je úspora veškerých mzdových nákladů v důsledku investice.

Ke správnému stanovení doby návratnosti budu tedy potřebovat následující informace:

- **Počáteční investice – PI**

Součet veškerých jednorázových nákladů spojených s implementací zařízení. Pořizovací náklady na investici technického řešení robotického pracoviště byly odhadnuty na 756 550 Kč (viz Tabulka 2). **PI = 728 150 Kč**

- **Úspora mzdových nákladů na operátora – ÚMNO**

Roční mzdové náklady na operátora, které budou díky pracovišti uspořeny nahrazením operátora robotem. Hodinové náklady na operátora vycházejí z minimální mzdy roku 2019 po zohlednění nákladů na zdravotní a sociální pojištění cca na 106 Kč/hod. Úspora mzdových nákladů se tedy vypočte jako součin položek v následující tabulce dle vzorce (5). [26]

Tabulka 5: Položky a jejich hodnoty pro výpočet ÚMNO

Položka	Hodnota položky
Hodinové náklady na operátora	106 Kč/h
Počet pracovních hodin za směnu	8 h
Počet směn na daném pracovišti	2 směny
Počet pracovních dní v roce 2019	251 dní
Počet uspořených operátorů na 1 směně	3
Prostoje stroje – denní údržba	0,5 h

$$\text{ÚMNO} = (106 \cdot [(8 \cdot 2) - 0,5] \cdot 251 \cdot 3) \quad (5)$$

$$\text{ÚMNO} = 1\,237\,179 \text{ Kč}$$

Tato částka představuje úsporu na mzdách 6 pracovníků. Protože je však nutné provádět roční pravidelný servis robota, je na druhou stranu nutné stanovit roční mzdové náklady externího servisního technika. Součástí těchto nákladů jsou i náklady na cestu, kterou musí technik z Prahy (sídlo společnosti FANUC pro Českou Republiku) do Kasejovic (provozovna společnosti P&V Elektronik spol. s r.o.) a zpět urazit (viz následující výpočet).

- **Náklady na servis robota – NS**

Servis robota se provádí pouze jednou za rok vyškoleným servisním technikem. Samotný servis trvá pouze pár hodin. Náklady na mzdy servisního technika se vypočítají jako součin položek uvedených v následující tabulce níže dle vzorce (2).

Tabulka 6: Položky a jejich hodnoty pro výpočet NS

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba servisního technika za práci	2000 Kč/h
Počet servisních hodin za rok	2h/rok
Hodinová sazba servisního technika za cestu	700 Kč/h
Počet hodin na cestě	3h
Kilometrová sazba	16 Kč/km
Počet ujetých kilometrů	200 km

$$NS = (2000 \cdot 2) + (700 \cdot 3) + (16 \cdot 200) \quad (6)$$

$$NS = 9\,300 \text{ Kč}$$

- **Mzdové náklady na obsluhu robota – NO**

Protože robotické pracoviště potřebuje pravidelnou obsluhu (doplnění cínu do lázně, odstranění zoxidovaného cínu, doplnění vodiče, vysátí odstraněné izolace, apod.) je dále nutné vypočítat mzdu operátora, který je za obsluhu pracoviště zodpovědný. Hodinové náklady na operátora vycházejí z dat českého statistického úřadu za čtvrté čtvrtletí roku 2018 pro odvětví zpracovatelský průmysl (CZ-NACE sekce C) po zohlednění nákladů na zdravotní a sociální pojištění cca na 271,35 Kč/hod. Mzdové náklady technika se vypočítají jako součin položek uvedených v následující tabulce dle vzorce (7). [26]

Tabulka 7: Položky a jejich hodnoty pro výpočet NO

Položka	Hodnota položky
Hodinová sazba operátora	271,35 Kč/h
Průměrná délka jedné údržby	4 min
Počet údržeb za den	8
Počet pracovních dní v roce 2019	251 dní

$$NO = 271,35 \cdot \frac{4}{60} \cdot 8 \cdot 251 \quad (7)$$

$$NO \approx 36\,325 \text{ Kč}$$

- **Náklady na provoz robota – NP**

Na rozdíl od manuální výroby je robot závislý na dodávce elektrické energie. Podle [28] je průměrná cena elektřiny v roce 2019 4,58 Kč za 1 kWh. Náklady na provoz robota se vypočítají jako součin položek uvedených v následující tabulce dle vzorce (8).

Tabulka 8: Položky a jejich hodnoty pro výpočet provozních nákladů NP

Položka	Hodnota položky
Příkon robota	0,53 kWh
Průměrná cena za 1 kWh v roce 2019	4,58 Kč
Počet pracovních hodin za směnu	8 h
Počet směn na daném pracovišti	2 směny
Počet pracovních dní v roce 2019	251 dní

$$NP = 0,53 \cdot 4,58 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 251 \quad (8)$$

$$NP \approx 9\,748 \text{ Kč}$$

Celkovou úsporu mzdových nákladů lze vypočítat jako úsporu ve mzdových nákladech za operátora, od které jsou odečteny náklady za servisního technika a náklady za obsluhu pracoviště.

- **Úspora ve mzdových nákladech – ÚMN**

Celkovou úsporu ve mzdových nákladech lze vypočítat dle vzorce (8) následovně.

$$\dot{U}MN = \dot{U}MNO - (NS + NO + NP) \quad (9)$$

$$\dot{U}MN = 1\,237\,179 - (9\,300 + 36\,325 + 9\,748)$$

$$\dot{U}MN = 1\,181\,806 \text{ Kč}$$

- **Doba návratnosti implementace – PP**

Doba návratnosti se stanoví jako podíl pořizovacích nákladů na investici a úspor ve mzdových nákladech.

$$PP = \frac{NI}{\dot{U}MN} \quad (10)$$

$$PP = \frac{728\,150}{1\,181\,806}$$

$$PP \approx 0,62 \text{ roku}$$

Vypočítaná doba návratnosti za implementaci robotického pracoviště je **0,62 roku**, což je dle společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. velmi přijatelná hodnota. Jedná se však spíše o teoretickou hodnotu, neboť se od reálné doby návratnosti může lišit. Protože reálné údaje o mzdách společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. nemohu zveřejnit, jelikož se jedná o citlivé informace, bylo počítáno orientačně pouze s minimální mzdou, která je adekvátní k tomuto druhu vykonávané práce. Dále je počítáno také s průměrnou mzdou za obsluhu pracoviště. Proto i tento údaj má mít vliv na výsledný výpočet. Vypočítaná teoretická doba návratnosti bude platit pouze v případě implementace technického řešení zmíněného v této práci. Dalším faktorem je standardizace výroby jednoho typu produktu. U případné úpravy pracoviště na jiný druh výrobku poté bude nutné zahrnout náklady na přestavbu pracoviště, s tím spojené mzdové náklady na programátora a započíst odstavku pracoviště.

7 Závěr

Závěrem bych chtěl říci, že zhotovené technické zařízení zvládá výrobu kusů přesně podle předloženého zadání a je nasazeno v průmyslové praxi ve společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. Jedná se již o druhé takovéto zařízení, které je použito ve výrobě v této společnosti. Zhotovení prvního robotického pracoviště jsem měl také na starosti, jeho vývoj však trval o poznání déle. Při stavbě druhého zařízení, které je popisováno v této diplomové práci, jsem již vycházel z předešlých získaných poznatků a doba projektu se značně zkrátila. V tabulce č. 2 jsou tedy již zmíněny adekvátní doby trvání. V případě prvního zařízení byla první položka v této tabulce – návrh technického zařízení, znatelně delší.

Uvedená doba návratnosti investice vypočítaná z úspor ve mzdových nákladech 0,62 roku je pouze orientační. Robotické pracoviště je často zapnuté i během víkendů, které do výpočtů nebyly zahrnuty. Dále z vlastní zkušenosti mohu říci, že mzda ve společnosti P&V Elektronik spol. s r.o. je vyšší než minimální mzda, kterou jsem použil ve výpočtech. V případě výpočtu zisku z investice hraje roli také konečná cena výrobku. Tyto údaje o cenách však nejsou zveřejnitelné, a proto byla doba návratnosti orientačně počítána z úspor ve mzdových nákladech. Z těchto skutečností lze usoudit, že skutečná doba návratnosti se bude lišit.

I přes nové návrhy na zlepšení a úpravu pracoviště je zatím stále potřebná obsluha pracoviště a to přibližně v intervalu 2 – 3 hodin. Obsluha má za úkol doplnění cínu do cínovací lázně, odstranění zoxidovaného cínu z lázně a odstranění nečistot ze zařízení pro odstranění izolace. Do budoucna je připraven návrh na automatické odsávání nečistot ze zařízení. Ke spínání odsávání může být použit některý z nevyužitých výstupů z řídicí jednotky. Další myšlenkou je implementace ochranné atmosféry u cínovací lázně, aby nedocházelo k tak rychlé oxidaci cínu. Těmito inovacemi by mohl být interval údržby prodloužen o dvojnásobek i více. I dodatečnou optimalizací programu by mohlo dojít k drobným časovým úsporám při výrobě jednotlivých kusů. Přesto vždy bude nutné jisté obsluhy k doplnění cínu, výměně zásobníku vodiče apod.

Seznam použité literatury a informačních zdrojů

Knihy, výukové materiály, normy, zákony apod.

- [1] *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [2] PISKAČ, Luděk. *Průmyslové roboty*. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-278-0.
- [3] KLEINOVÁ, Jana. *Ekonomické hodnocení výrobních procesů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-364-7.

Internetové zdroje

- [4] *DEFINITION OF A ROBOT* [online]. [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20070628064010/http://www.dira.dk/pdf/robotdef.pdf>
- [5] Automation. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Automation>
- [6] Automaton. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Automaton>
- [7] Robotics. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>
- [8] Industrial robot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Articulated_robot
- [9] Articulated robot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot
- [10] Robot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [11] Cobot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobot>
- [12] ŽÁČEK, Michal. Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy?. *FACTORY AUTOMATIZATION* [online]. © 2014 – 2019 FANUC Czech s.r.o., c2018. [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [13] Delta robot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Delta_robot
- [14] SCARA. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/SCARA>

- [15] Cartesian coordinate robot. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_coordinate_robot
- [16] Lights Out (manufacturing). *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lights_out_\(manufacturing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lights_out_(manufacturing))
- [17] DUCHOSLAV, Petr. Desatero dobrých důvodů, proč investovat do robotu. *FACTORY AUTOMATIZATION* [online]. © 2014 – 2019 FANUC Czech s.r.o., c2014. [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/desatero-dobrych-duvodu-proc-investovat-do-robotu/>
- [18] Řídicí jednotka R-30iB Plus. *FANUC* [online]. FANUC Czech s.r.o., Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/robot-controller-and-connectivity>
- [19] Nový dotykový ovladač iPendant-Touch. *FANUC* [online]. FANUC Czech s.r.o., Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/robot-controller-and-connectivity/ipendant-touch>
- [20] LR Mate 200iD. *FANUC* [online]. FANUC Czech s.r.o., Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-lrmate/lrmate-200-id>
- [21] Bezpečnostní funkce pro roboty. *FANUC* [online]. FANUC Czech s.r.o., Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/bezpe%C4%8Dnost>
- [22] *FANUC ROBOT LR Mate 200iC - OPERATOR'S MANUAL* [online]. Michigan: FANUC Robotics America, Inc., 2007 [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: http://www.msamc.org/imst_level1/documentation/pdf/manuals/lr_mate_manuals/LR%20Mate%20200iC%20Operators%20Manual.pdf
- [23] *FANUC ROBOT LR Mate 200iC - MAINTENANCE MANUAL* [online]. Michigan: FANUC Robotics America, Inc., 2003 [cit. 2019-28-01]. Dostupné z: http://www.msamc.org/imst_level1/documentation/pdf/manuals/lr_mate_manuals/LR%20Mate%20200iC%20Maintenance%20Manual.pdf
- [24] Zapojení časovače 555. *MYLMS* [online]. c2017. [cit. 2019-14-03]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-casovace-555/>
- [25] NE555. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2019-14-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/NE555>
- [26] Průměrné mzdy – 4. čtvrtletí 2018. *ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD* [online]. Český statistický úřad – Praha, c2019. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/prumerne-mzdy-4-ctvrtleti-2018>
- [27] Informace o minimální mzdě od 1. ledna 2019. *MINISTERSTVO PRÁCE A SOCIÁLNÍCH VĚCÍ* [online]. MPSV ČR – Praha, c2019. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: https://www.mpsv.cz/files/clanky/34725/Informace_o_MMe_od_1_ledna_2019_na_web_MPSV.pdf

Přílohy

Příloha A - Konstrukce funkčního programu výrobního procesu robotického pracoviště

a) MAIN program:

```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3: PAYLOAD[3]
4:
5: R[53:Pocet_kusu_PRG6]=10000
6: LBL[1]
7: R[53:Pocet_kusu_PRG6]=R[53:Pocet_kusu_PRG6]-1
8:
9: WAIT DI[102:TLAK_CIDLO]=ON
10: CALL PRG6_STRIH
11:
12: CALL PRG6_ODISOL
13:
14: WAIT DI[102:TLAK_CIDLO]=ON
15: CALL PRG6_OHYB
16:
17: CALL PRG6_FLUX
18:
19: CALL PRG6_CIN
20:
21: IF R[53:Pocet_kusu_PRG6]>0,JMP LBL[1]
22:
23: CALL L_HOME
[END]
```

b) Program na pozadí:

```
1: IF (DI[101:CIDLO]=ON),
   DO[103:PODEJ_DRAT]=(OFF)
[END]
```

c) Program KLESTE_OTEVRIIT:

```
1: RO[2]=OFF
2: RO[1:KLESTE]=ON
3: WAIT .50(sec)
[END]
```

d) Program KLESTE_ZAVRIT:

```
1: RO[1:KLESTE]=OFF
2: RO[2]=ON
3: WAIT .50(sec)
[END]
```

e) Program PRG6_STRIH

```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3:
4: IF (DI[101:CIDLO]=OFF), DO[103:PODEJ_DRAT]=(ON)
5:
```

```
6:L P[5] 500mm/sec CNT100
7:L P[7] 500mm/sec CNT10
8:L P[8] 300mm/sec CNT1
9:
10: IF (DI[101:CIDLO]=OFF), DO[103:PODEJ_DRAT]=(ON)
11:
12: WAIT DI[101:CIDLO]=ON
13:
14:L P[4] 150mm/sec FINE
15:
16: WAIT .20(sec)
17:
18: CALL KLESTE_ZAVRIT
19:
20: DO[102:VENTIL_STRIH]=ON
21: WAIT .30(sec)
22: DO[102:VENTIL_STRIH]=OFF
23:
24:L P[9] 100mm/sec CNT100
25:L P[10] 200mm/sec CNT100
26:L P[11] 750mm/sec CNT100
27:L P[12] 750mm/sec CNT100
28:
29:L P[2] 750mm/sec CNT100
30:L P[3] 750mm/sec CNT100
31:
32: DO[103:PODEJ_DRAT]=ON
[END]
```

f) Program PRG6_ODIZOL

```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3:
4:L P[1] 750mm/sec CNT50
5:L P[12] 150mm/sec CNT50
6: WAIT .20(sec)
7:L P[2] 15mm/sec CNT1
8:L P[3] 150mm/sec CNT1
9:
10:L P[4] 1500mm/sec CNT100
11:L P[8] 1500mm/sec CNT100
12:
13:L P[13] 100mm/sec CNT100
14: WAIT .20(sec)
15:L P[5] 15mm/sec CNT1
16:L P[6] 150mm/sec CNT1
17:
18:L P[7] 1000mm/sec CNT100
19:L P[9] 1500mm/sec CNT100
20:L P[14] 1500mm/sec CNT100
20:L P[10] 2000mm/sec CNT100
21:L P[11] 2000mm/sec CNT100
[END]
```

g) Program PRG6_OHYB

```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3:
4:L P[1] 2000mm/sec CNT100
5:L P[2] 2000mm/sec CNT50
6:L P[5] 750mm/sec CNT50
7:L P[7] 250mm/sec FINE
8:L P[4] 25mm/sec FINE
9:
10: WAIT .30(sec)
11: DO[101:VENTIL_OHYB]=ON
12: WAIT .50(sec)
13: DO[101:VENTIL_OHYB]=OFF
14: WAIT .30(sec)
15:
16:L P[6] 100mm/sec FINE
17:L P[8] 350mm/sec CNT100
18:L P[3] 1000mm/sec CNT100
[END]
```

h) Program PRG6_FLUX

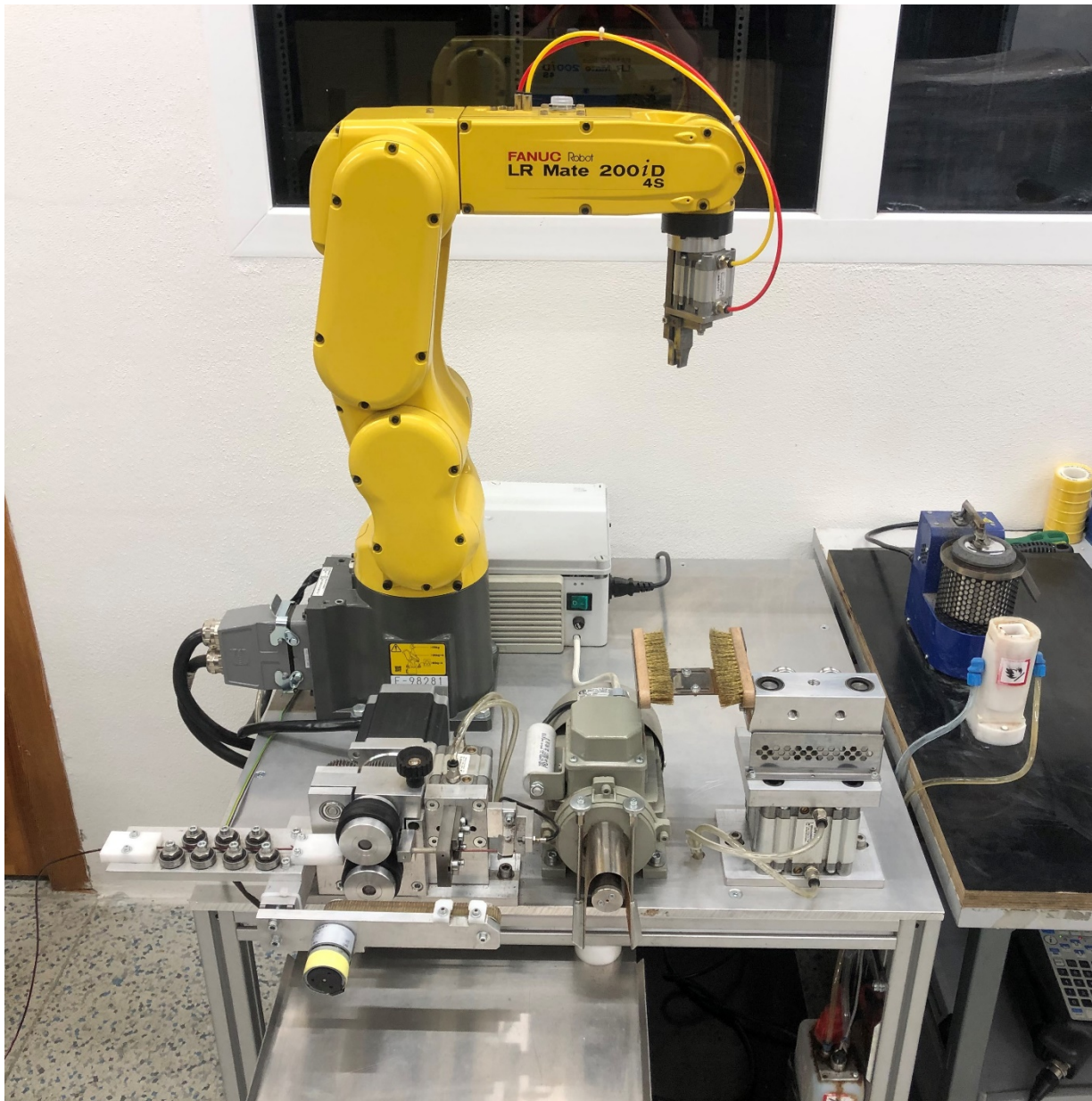
```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3:
4:L P[5] 1500mm/sec CNT100
5:L P[1] 1000mm/sec CNT50
6:L P[6] 500mm/sec CNT10
7:L P[2] 150mm/sec FINE
8:L P[3] 300mm/sec CNT50
9:L P[4] 750mm/sec CNT100
[END]
```

i) Program PRG6_CIN

```
1: UFRAME_NUM=0
2: UTOOL_NUM=2
3:
4:L P[1] 350mm/sec CNT25
5:L P[3] 35mm/sec FINE
6: WAIT .50(sec)
7:L P[2] 30mm/sec FINE
8:L P[11] 350mm/sec CNT100
9:
10:L P[7] 1000mm/sec CNT100
11:L P[15] 1500mm/sec CNT100
12:L P[16] 1500mm/sec CNT100
13:L P[19] 1500mm/sec CNT100
14:L P[20] 1500mm/sec CNT100
15:L P[21] 1500mm/sec CNT100
16:
17:L P[9] 1500mm/sec CNT100
```

```
18:L P[8] 1500mm/sec CNT100
19:L P[12] 1500mm/sec CNT100
20:L P[13] 1000mm/sec CNT100
21:L P[5] 1000mm/sec CNT100
22:L P[14] 500mm/sec CNT10
23:L P[6] 100mm/sec CNT10
24:L P[4] 100mm/sec FINE
21:
22: WAIT .30(sec)
23: CALL KLESTE_OTEVRI
24:
25:L P[17] 100mm/sec CNT25
26:L P[18] 200mm/sec CNT100
[END]
```

Příloha B – Fotodokumentace vzhledu robotického pracoviště



Příloha C – Fotodokumentace uložení elektroniky

