

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

Návrh robotizovaného, svařovacího pracoviště

Bc. Ivo Albrecht, DiS

**Diplomová práce
2012**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivo Albrecht**
Osobní číslo: **D10758**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura: Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Návrh robotizovaného, svařovacího pracoviště**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Návrh koncepce pracoviště
Analýza způsobů řízení robotů
Optimalizace svařovacího procesu
Podrobná analýza programu a komunikace mezi roboty a PLC.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Rumíšek, P. : Automatizace výrobních procesů, VUT Brno, 1988

Rumíšek, P. : Automatizace výrobních procesů II, VUT Brno, 1990

Vašek, J. : Dynamika průmyslových robotů, ČVUT, Praha, 1979

Jalový, M. Jalová, M. Andrlík, V.: Průmyslové roboty a manipulátory, ČVUT, Praha, 2005

Podklady pro školení robotů KUKA, Blumenbecker Praha

Kuka Roboter GmbH.: Kuka system software configuration, 2005

Vlastní zdroje, programové kódy

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

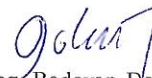
Datum zadání diplomové práce: **31. května 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2013**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2013

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci použil, jsou uvedeny v seznamu použitých informačních zdrojů.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Praze dne 15. 05. 2012

Bc. Ivo Albrecht, DiS.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na této práci, zejména pak panu Ing. Zdeňkovi Maškovi, Ph.D, mému vedoucímu práce, za jeho ochotu, obětavost a cenné rady. Dále pak všem kolegům a přátelům ze společnosti BLUMENBECKER PRAG s.r.o. za poskytnuté materiály, konzultace a krásných 6 let v jejich řadách.

Velmi Vám všem děkuji.

Anotace

Cílem diplomanta je navrhnout uspořádání robotizovaného svařovacího pracoviště pro svařování rámu sedadel osobního vozidla. Obsahem práce bude analýza požadavků na svářecí pracoviště, určení potřebného počtu robotů a způsobu jejich řízení, a optimalizace pracovního cyklu. Výsledkem bude realizace navrženého uspořádání a ověření v praxi.

Klíčová slova

robot, pohony, robotizované pracoviště, odporové svařování, svařovací kleště

Annotation

The objective of student's diploma work is to design arrangement robotic welding frame seat of the vehicle. The thesis will analyze the requirements for welding work, determination of the required number of robots, their control, and optimization of the operating cycle. The result will be implementation of the proposed arrangement and verify in practice.

Keywords

robot, drivers, robotized workplace, resistance welding, welding gun



Obsah

1.	ÚVOD	9
2.	NÁVRH KONCEPCE PRACOVIŠTĚ	10
2.1	Požadavky zákazníka	10
2.2	Koncepce pracoviště	11
3.	ANALÝZA ZPŮSOBŮ ŘÍZENÍ ROBOTA	15
3.1	Způsoby řízení robotizovaného pracoviště	15
3.2	Popis pracoviště	17
3.3	Struktura řízení jednotlivých zařízení	22
3.4	Ovládací panel	23
3.5	Důležité systémové proměnné	25
3.5.1	\$Advance	25
3.5.2	\$Alarm_stop	26
3.5.3	\$Aut, \$Ext, \$T1 a \$T2	26
3.5.4	\$Conf_mess	26
3.5.5	\$Drives_On a Drives_Off	26
3.5.6	\$Peri_rdy	26
3.5.7	\$Ext_start	26
3.5.8	\$In_home	27
3.5.9	\$Move_enable	27
3.5.10	\$On_path	27
3.5.11	\$Near_posret	27
3.5.12	\$Pos_ret	28
3.5.13	\$Pro_act	28
3.5.14	\$Pro_state	28
3.5.15	\$Ov_pro	28
3.6	Vstupy a výstupy externí automatiky	29
3.7	Start robota v automatickém režimu pomocí PLC	31
4.	TEORIE SVAŘOVACÍHO PROCESU A OPTIMALIZACE SVARŮ ..	34
4.1	Princip odporového svařování	34
4.2	Svařovací režimy	36



4.3	Další metody odporového svařování	37
4.3.1	Stykové svařování	37
4.3.2	Švové svařování	38
4.3.3	Výstupkové (bradavkové) svařování	39
4.4	Svařovací stroje	40
4.5	Svařovací kleště a invertor ARO	44
4.6	Optimalizace svárových bodů	48
5.	PODROBNÁ ANALÝZA PROGRAMU	53
5.1	Programování robota KUKA	53
5.2	Ovládací panel robota a HMI prostředí	54
5.3	Submit interpreter	56
5.4	Hlavní program	59
5.5	Pohyby robota	62
5.6	Svařovací program	65
6.	ZÁVĚR	72
7.	POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE	74



I. Úvod

Vlivem neustálého rostoucího tlaku zákazníků na zvyšování produktivity, kvality, přesnosti a bezpečnosti výroby v posledních dvou dekadách, se zvyšuje poptávka po automatických výrobních zařízeních. Díky snižující se ceně hardwarových součástí, zvládnutí řízení regulace pohonů, masivní sériové výrobě mnoha výrobců a stále se zlepšujícímu, uživatelsky přátelskému rozhraní se daleko více prosazují nejrůznější manipulátory a roboty. Jeden z konkrétních příkladů z průmyslové praxe je cílem této práce.

Dne 19.12.2011 byl do společnosti Blumenbecker Prag s.r.o, kde jsem pracoval jako programátor průmyslových robotů, zaslán nominační dopis. Tento dopis nám oznamoval, že naše firma byla v rámci výběrového řízení vybrána jako dodavatel 2 ks robotizovaných svařovacích zařízení pro projekt svařování rámu sedadel do osobních automobilů koncernu Volkswagen. Začala tedy pečlivá práce s přípravou projektu. Od prvopočátečního návrhu rozmístění, objednávání jednotlivých komponentů, návrhů a přípravy elektrické a strojařské dokumentace až po vyrobení dílů a následnou montáž obou zařízení dle této dokumentace.

Na projektu se podílelo mnoho kolegů. Cílem práce proto nebude popisovat projekt v celé jeho šířce. Práce bude úzce zaměřena pouze na robota, jeho řízení a další periférie podřízené a ovládané z robota. Pokusím se zde popsat jednotlivé návrhy, od počátečních teoretických simulací, přes praktické programování a uvádění zařízení do reálného provozu. Zároveň si velice dobře uvědomuji komplexnost celého zařízení a omezené kapacity této diplomové práce a pokusím se zachovat vyváženost mezi teoretickou a praktickou částí.

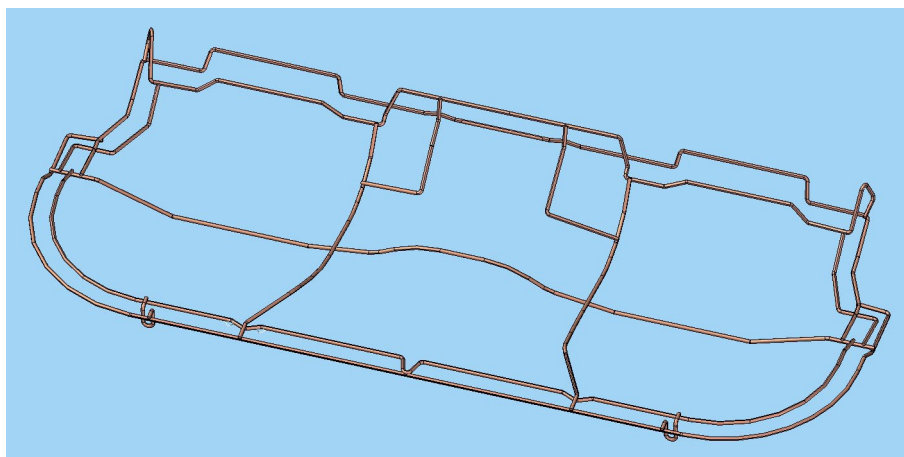
V práci jsou použity informace z manuálů a příruček, zejména [8], [9] a [10]. Teorie svařovacího procesu pak [6] a [20]. Jejich úplný výčet je uveden v 7. kapitole Použité informační zdroje. Použité fotografie pracoviště byly pořízeny diplomantem.

2. Návrh koncepce pracoviště

2.1 Požadavky zákazníka

Navrhnout robotické svařovací pracoviště pro svařování drátěného sedáku:

- Pracoviště s roboty
- Otočný stůl se dvěma polohami
- Svařovací přípravky s pneumatickým upínáním
- Bodové svařovací kleště se středofrekvenčním zdrojem
- Zařízení musí umět zajistit záznamy svařovacích parametrů (F, t, I) (přiřazeno ke každému přípravku a bodu) a jejich kontrolu. Při odchylce svařovacích parametrů mimo nastavené meze (+10; -5%) nutná blokáce automatického cyklu. V tomto případě nevydá tiskárna štítek.
- Možnost simulace chybného procesu
- Pokyoke (kontrolní zařízení) na svařovacím přípravku pro hlídání nezaloženého kusu a znemožnění záměny dílů v celkové sestavě
- Bezpečný provoz
- Zařízení musí odpovídat požadavkům ISO 9001
- C_p , C_{pk} u vyráběných sestav min = 1,67 (využití 6/10 tolerančních mezí) ověřeno na min. 50 po sobě jdoucích ks.
- Nulový přesah příčných drátů a závěsů přes obrysové dráty
- Svár s pevností min. 2,4 kN, průměr čochy min. 3mm (VW01103 - makro, způsobilost pevnosti a rozstřík).
- Připojení linky na tiskárnu štítků
- Takt linky do 26 / 52 s



Obr. 2.1. Model držáku sedadla

2.2 Koncepce pracoviště

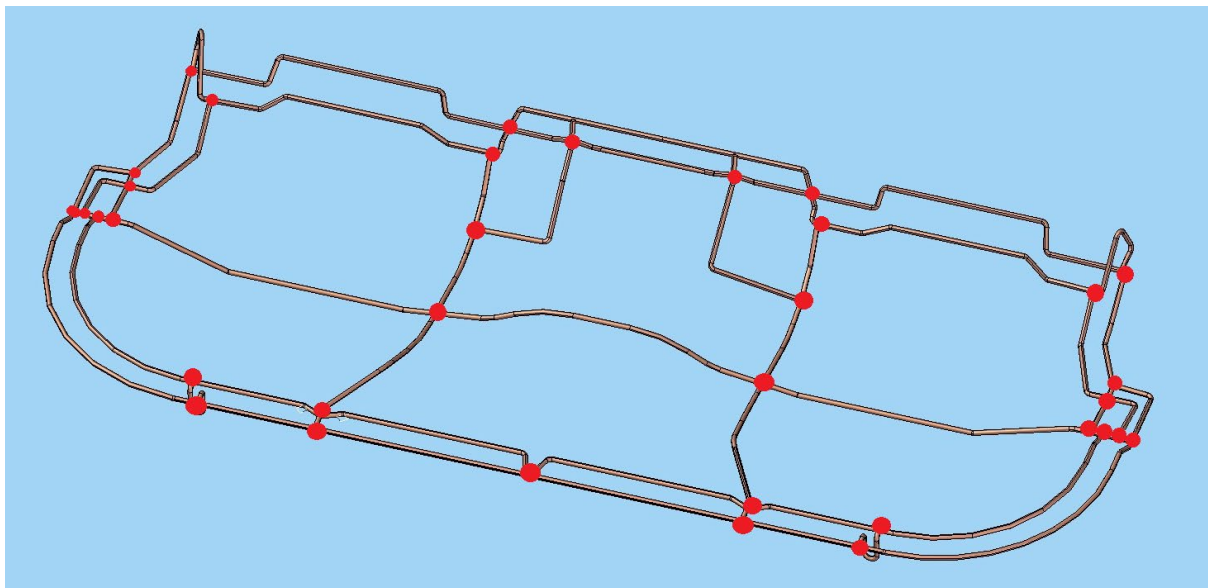
Původní počáteční koncept pracoviště byl vytvořen v simulačním softwaru KUKA SimPro od společnosti KUKA Roboter GmbH, na nějž vlastní společnost Blumenbecker Prag, s.r.o. licenci. Od společnosti KUKA byly poté integrovány i samotné roboty. Software SimPro umožňuje vytváření 3D modelů s roboty a jejich snadnou simulaci. S pomocí bohaté knihovny obsahující celou řadu inteligentních komponentů, které nejsou jen jednoduchou geometrií, ale jsou částečně parametricky sestavené a chovají se tak, že je můžete v rámci simulace aktivně využívat (např. dopravníky, světelné závory, hydraulické lis, otočné stoly atd.). Díky tomuto stavebníkovému principu není nutné opětovné kreslení komponent, což představuje značnou úsporu času. Stačilo pouze, aby zákazník zaslal model drátěného sedáku, a během několika dní jsme mohli začít zkoušet koncepci a simulaci trajektorií.



Obr. 2.2. Ukázka svařovacího pracoviště v programu KUKA SimPro

Od počátku bylo jasné využití otočného stolu. Jeho použití má velmi kladný vliv na celkový takt pracoviště. Stůl je rozdělen na dvě poloviny, kde na jedné straně obsluha pracoviště zakládá dílce do přípravku, a druhá strana je polohována k robotům a lze zde svařovat. Teoreticky, pokud je obsluha rychlejší než roboty, jsou roboty neustále v činnosti, nepočítáme-li otočku stolu o 180°. Nejkritičtější faktorem celého pracoviště bylo splnění náročného časového taktu. Pro splnění požadavků zákazníka

bylo potřeba, aby každých 26 sekund byl z přípravku vyjmut svařenec sedáku. Sedák se skládá z 14 ohýbacím strojem tvarovaných a přesně střížených drátů a v celkové sestavě se nachází 35 svařovacích bodů.

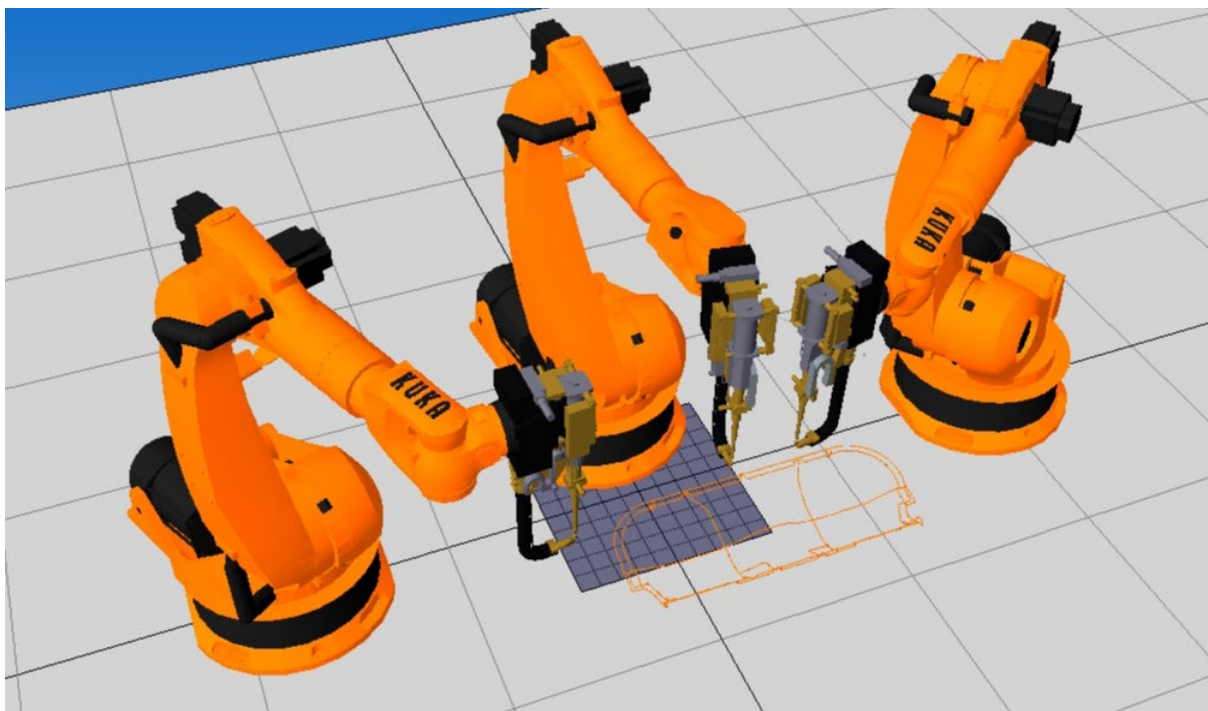


Obr. 2.3. Umístění svařovacích bodů v celkové sestavě

První koncept otočného stolu se třemi roboty se vůbec neosvědčil. Ze simulace bylo zcela zřetelné, že manipulace se třemi obrovskými svařovacími kleštěmi v přípravku bude velice problematická. Většinu pracovního cyklu se roboty navzájem blokují a překážejí si v pracovní oblasti přípravku. Při simulaci bylo zjištěno, že v nejlepším případě reálně svařují pouze 2 roboty a třetí je blokováný a čeká na uvolnění zóny. Dalším problémem každé simulace je, že ve většině těchto softwarů nelze namodelovat pohyby kabelových svazků, které jsou připojené k svařovacím kleštím. Svazky jsou v elastickém, plastovém pouzdře a při pohybu robota a kleští se nejrůznějšími způsoby obtáčejí kolem osy robota. Pokud je v simulaci evidentní, že roboty nemají jistou prostorovou rezervu v prostoru kolem osy, je jasné, že tento koncept je špatně navržený a nemá naději na úspěch. Třetím problémem byl časový takt. Nebylo možné při nejlepší vůli dosáhnout taktu 26 vteřin. Při odhadnuté 1,5 vteřinové ztrátě (v simulaci se robot pouze na 1,5 vteřiny zastavil) na každý jednotlivý svařovací bod, která představovalo sevření a opětovné otevření kleští, dobu svařování a dobu ochlazení. Při odhadnuté době 5 vteřin na otočení stolu se celkový svařovací čas nepodařilo snížit pod 72 sekund.

Konceptem č. 2 byla snaha ponechat původní návrh a trajektorie, pouze se omezit na pracoviště se dvěma roboty. Po drobných modifikacích byla výsledná simulace velice zdařilá. Roboty se po předělání trajektorií vzájemně neovlivňují a pokud oba vstupují do stejné zóny, nevstupují do ní současně, ale v dostatečně

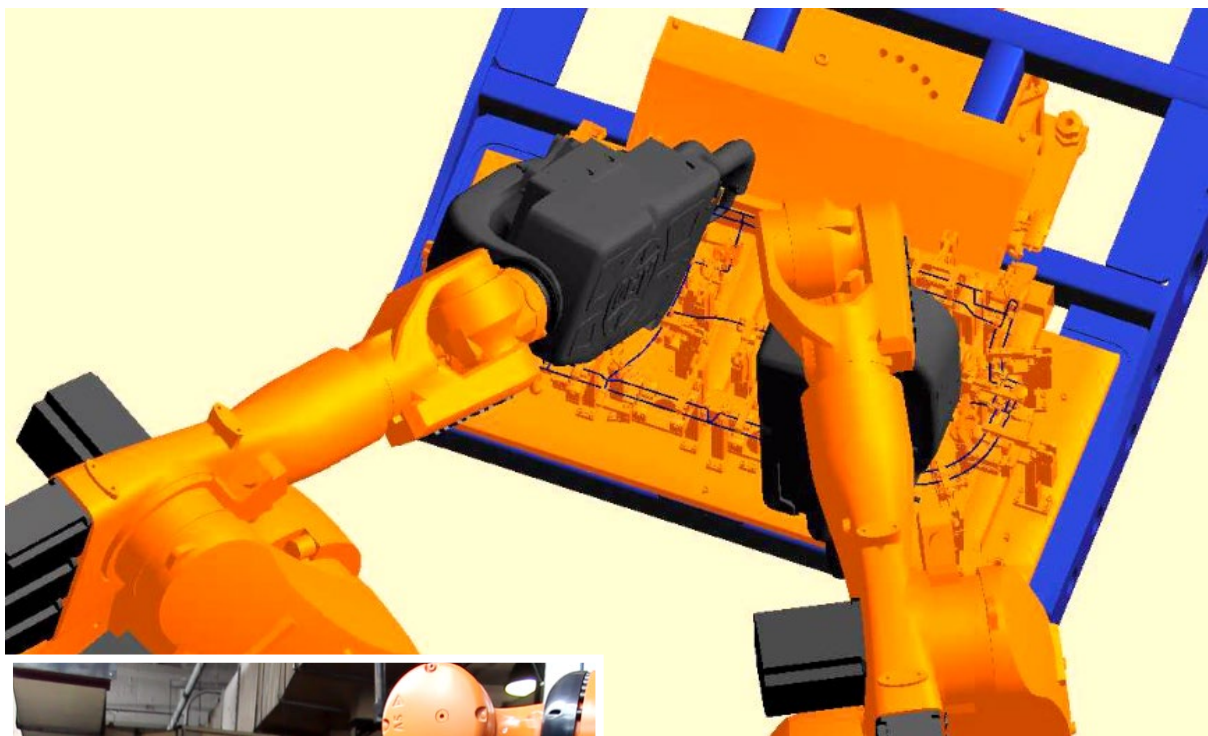
odděleném časovém intervalu. Ve výsledné podobě pak jeden robot uvolní společnou pracovní oblast s druhým robotem dostatečně dlouho před tím, než ji potřebuje zabrat robot druhý. Jednotlivé oblasti byly rozvrženy tak, aby se roboty téměř celou dobu neblokovaly a po celou dobu cyklu byly v pohybu nebo svařovaly.



Obr. 2.4. Původní nevyhovující koncept

Výsledný čas v simulaci se rovnal času lehce pod 1 minutu, cca 57 vteřin. Hrubá simulace nám umožnila prokázat, že požadovaný čas je pro náš návrh reálný a zákazníkovi byla nabídnuta varianta dodávky dvou identických svařovacích pracovišť, každé se dvěma průmyslovými roboty KUKA. Kritických 26 vteřin (každých 52 sekund 2 díly při automatickém provozu obou dvou svařovacích pracovišť) bude dosaženo v reálných podmínkách. V simulaci nebylo dosaženo požadovaného časového taktu, ale vzhledem k mnoha neznámým časovým proměnným (jako byly délky prodlev u svařování, doba otočení stolu, reakční časy robotů, atd.) byl projekt nabídnut zákazníkovi. Tyto časové proměnné byli v rámci simulace také úmyslně značně naddimenzované.

Jak již bylo v úvodu naznačeno, tento koncept společnosti Blumenbecker Prag vyhrál, a obě pracoviště byla, po cca 3 měsících intenzivní práce u zákazníka, v listopadu roku 2012 uvedena v činnost. Hlavní výhodou a předpokladem pro volbu našeho návrhu byla jednoznačně univerzálnost robotů. V případě nutnosti je trajektorie robota a úprava svařovacího bodu velmi jednoduše proveditelná (oproti jednoúčelovým strojům se statickými svařovacími elektrodami). Nebo pokud by se zákazník rozhodnul



Obr. 2.5. Vítězný návrh



Obr. 2.6. Pracoviště v automatickém chodu

rozšířit sortiment svých výrobků, otočný stůl umožňuje rychlou výměnu přípravků. Programování dráhy pro nový sortiment s úplným odladěním je pak záležitost maximálně 2 týdnů. Neméně významná je i určitá praktičnost robota po ukončení životnosti zařízení, kde roboty lze jednoduše přestavět do jiného pracoviště třeba i s diametrálně rozdílnou funkcí. Ať už se jedná například o velice populární frézování, manipulaci nebo jiné průmyslové činnosti. Poslední výhodou, kterou bych rád zmínil, je navýšení základací doby na dvojnásobek. Obsluha má více času na založení a upevnění všech dílců do přípravku. U jednoúčelového stroje by musel být počet obsluhujícího personálu 2-3x navýšen oproti našemu řešení. Zde lze zařízení pohodlně ovládat v 1-2 členech obsluhy.

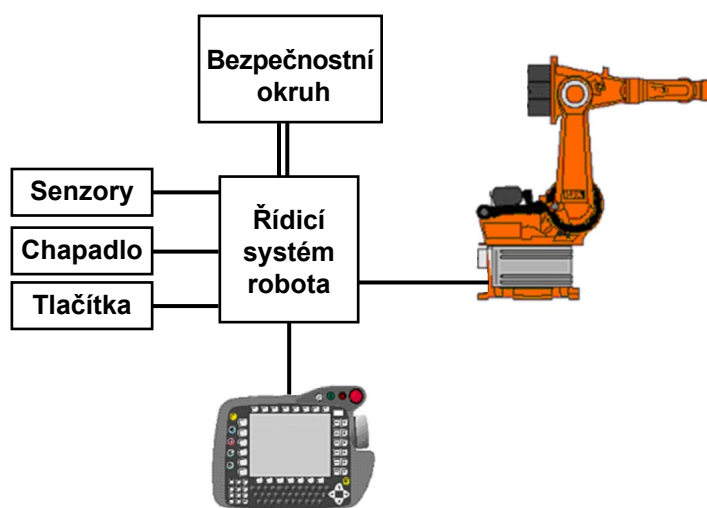
3. Analýza způsobů řízení robota

3.1 Způsoby řízení robotizovaného pracoviště

Řízení robotizovaného pracoviště lze teoreticky provádět třemi způsoby, které se využívají podle složitosti úlohy, kterou má průmyslový robot nebo i více robotů současně vykonávat.

a) Pracoviště řízené robotem

Pracoviště realizované tím nejjednodušším způsobem, kde je využito pouze řídicího systému průmyslového robota. Na multifunkční kartu s digitálními vstupy a výstupy jsou připojeny potřebné signály a ovládací prvky pracoviště. Největší výhodou tohoto typu pracoviště jsou především jeho nízké pořizovací náklady, vyšší flexibilita i teoreticky vyšší spolehlivost daná menším počtem poruchových prvků. Nevýhodou pak bývá možnost rozšíření tohoto pracoviště, která je omezená především parametry robota. Máme na mysli například paměť, omezený počet vstupů a výstupů, apod. Tento způsob řízení bývá využíván u malých automatizovaných pracovišť nejčastěji s jedním robotem, například svařovací a manipulační aplikace. Nejčastěji pak také bývá použito jako provizorní řešení aplikací s krátkou životností. Například pro testování, prezentace možností, nejrůznější veletrhy apod. Bezpečnostní okruh pak může být i zkratován a pracoviště pak musí být obsluhováno patřičně způsobilou osobou.

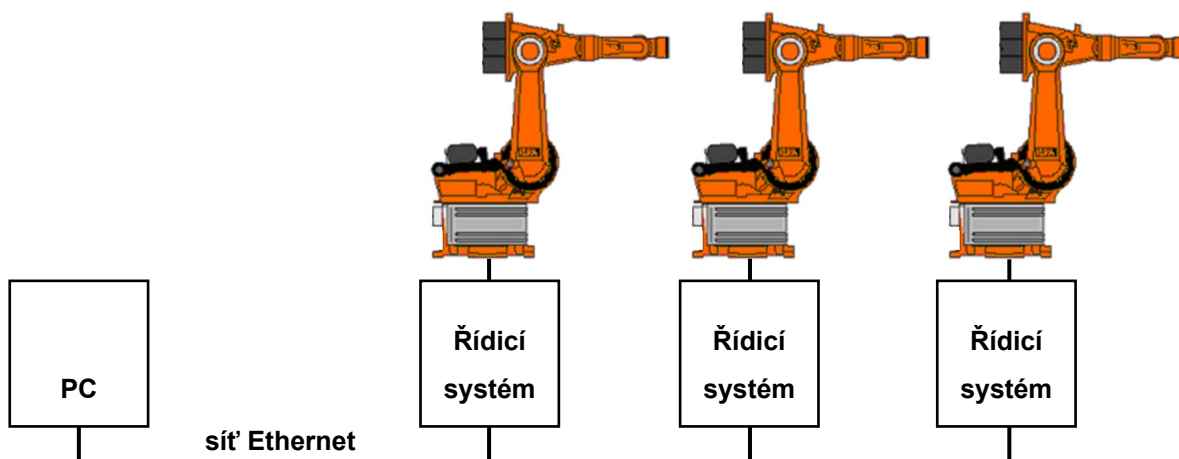


Obr. 3.1. Pracoviště řízené robotem

b) Pracoviště řízené pomocí OPC serveru

Druhý způsob se využívá tam, kde potřebujeme maximalizovat flexibilitu výrobního procesu. Jedná se o připojení vzdáleného zařízení s podrobnou vizualizací, nebo-li OPC serveru a terminálu PC, pomocí vysokorychlostních sítí, např. Ethernet nebo

optické sítě. Z tohoto PC pak lze provádět změny parametrů výrobních operací nebo upravovat prostorové souřadnice jednotlivých bodů. Všechny tyto změny mohou být upravovány on-line, tedy v průběhu programu. Další podstatnou výhodou je sběr dat pro vyhodnocení nejrůznějších parametrů pracoviště. Zkoumá se například poruchovost a následné doby uvedení do opětovného provozu, časový cyklus jednotlivých operací, množství provedených operací / vyrobených kusů v jednotlivých směnách a mnoho dalších „důležitých“ tabulkových dat. Tento způsob řízení se vyznačuje velkou flexibilitou, avšak při jeho realizování je potřeba odstranit všechny nežádoucí stavy, ve kterých se výrobní proces může nacházet, a tyto stavy odpovídajícím způsobem ošetřit. Tento způsob řízení se používá nejméně. Pracoviště řízené pomocí OPC serveru také rozhodně není z nejlépejších.



Obr. 3.2. Pracoviště řízené pomocí OPC

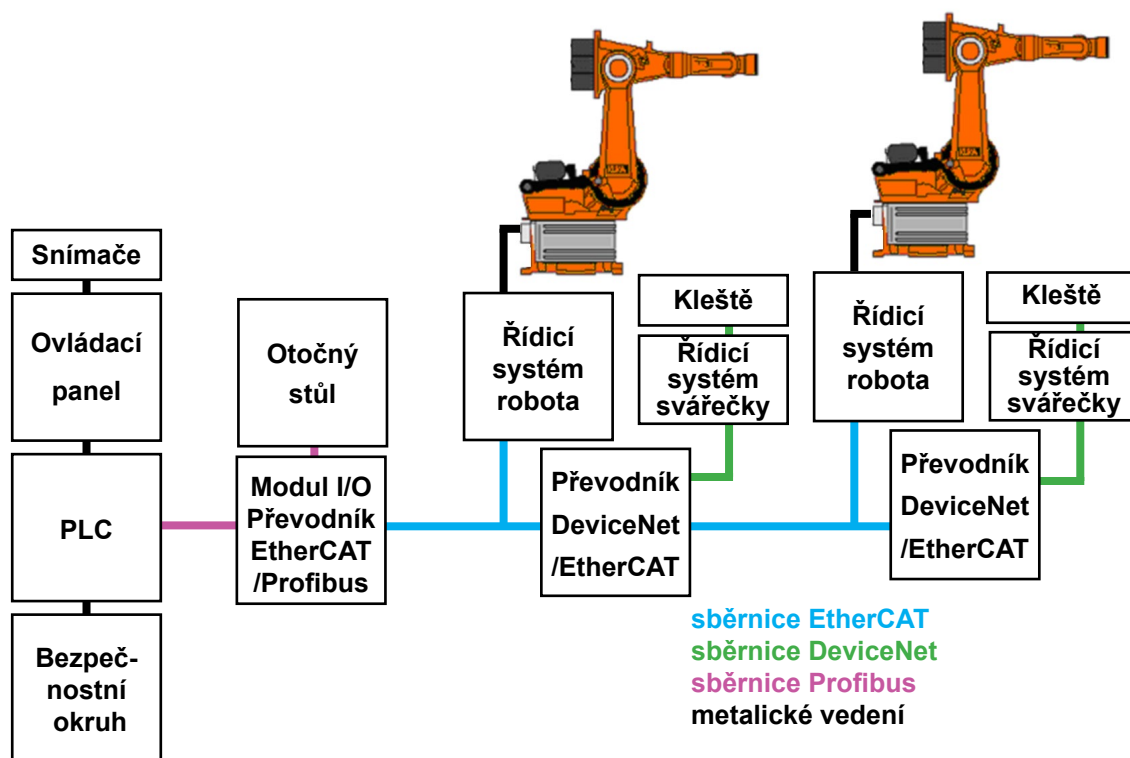
c) Pracoviště řízené pomocí externího PLC

Nejčastější využívanou možností jak řídit aplikace složitějšího charakteru je využít externí PLC. Programovatelný automat PLC umožňuje rozšířit počet vstupů a výstupů přes různé typy průmyslových sběrnic (DeviceNet, Profibus, EtherCAT apod.). Takto je možné propojit i několik robotů, polohovacích zařízení nebo jiných výrobních strojů současně na jednom pracovišti a centrálně je ovládat nadřazeným PLC v reálném čase.

Tato varianta byla zvolena i pro naši svařovací aplikaci, kde hlavním „mozkem“ celého pracoviště je PLC značky SIEMENS s procesorovou jednotkou S7 - 300.



Obr. 3.3. Procesorová jednotka



Obr. 3.4. Schéma našeho pracoviště s externím PLC

3.2 Popis pracoviště

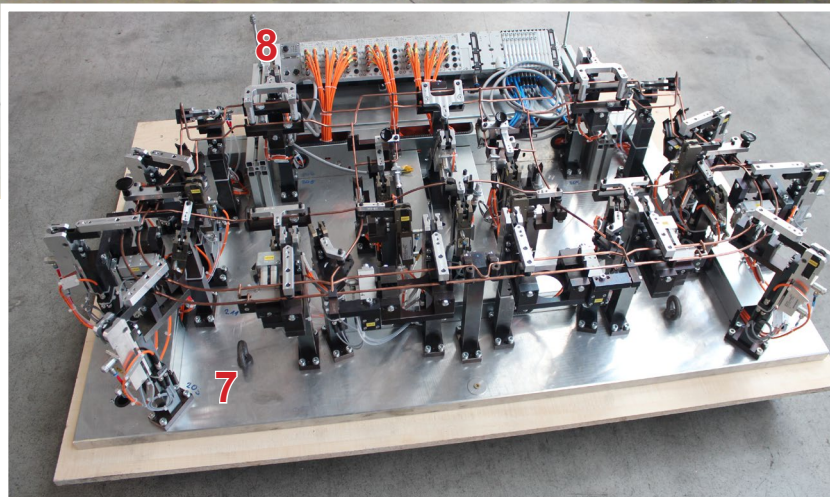
Jak je zřejmé ze zjednodušeného schématu, celé pracoviště je řízeno pomocí PLC. Jeho hlavní funkcí je bezpečně vyhodnotit, v jakém stavu se nachází zařízení, a patřičně v reálném čase na tento stav reagovat. Pro uvedení pracoviště do automatického režimu požaduje PLC patřičné signály. Jsou to například signály kontroly správné polohy polohovacího stolu, dveře do prostoru pracoviště uzavřeny, oba roboty ve výchozí pozici, dostatečný tlak na průtokoměru vody i vzduchu, prostor mezi světelnými závory není obsazený a další. V případě, že není podmínka splněna, na komunikačním rozhraní je znázorněna porucha a řádně zaškolená obsluha pracoviště ji odstraní. Komunikační rozhraní mezi obsluhou a pracovištěm, nebo-li ovládací panel, je malá doteková obrazovka s několika tlačítky. Obsluha zde může adekvátně reagovat na jednotlivé stavy bez jakékoliv znalosti programování PLC nebo robotů.

V automatickém režimu hlídá PLC polohu otočného stolu, který má reálně 2 polohy. Poloha pracovní, tedy u robotů, a polohu zakládací, tedy takovou, kde je obsluhou umožněno zakládání dílů. Po založení kompletní sestavy do přípravku opustí obsluha nebezpečný prostor pohybu otočného stolu, který je hlídán světelnými závory, a tlačítkem potvrdí. PLC zkontroluje sestavu drátů založenou v přípravku a v případě nekorektnosti je obsluha opět upozorněna na závadu. Pokud je vše v pořádku

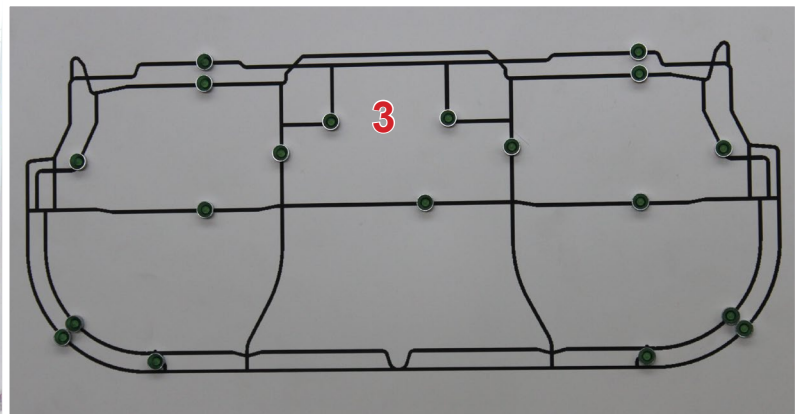
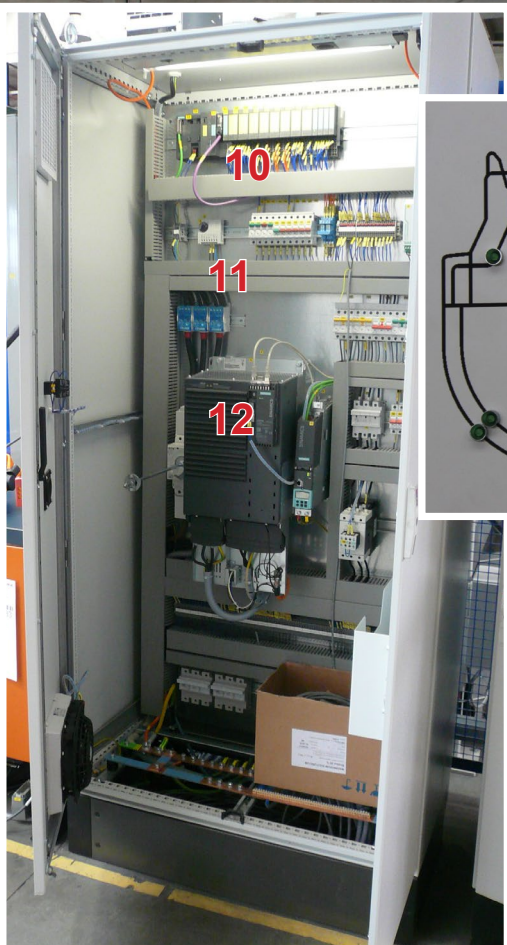
a všechny podmínky jsou splněny, PLC otočí polohovací stůl do pozice k robotu a spouští svařovací sekvenci robotů. Na straně u obsluhy se objeví svařenec, který je potřeba opatrně vyjmout. Poté obsluha založí do přípravku novou sestavu drátů a celý cyklus se opakuje. Kromě všeobecné bezpečnosti a uzavřenosti bezpečnostního okruhu, polohovacího stolu a povolení pro roboty ještě PLC ovládá další periferní funkce. Patří mezi ně například sběr dat z průběhu každého cyklu nebo tisk štítků s čárkovým kódem, kterým obsluha označí svařenec.



Obr. 3.5. Pracoviště
s otočným stolem
v mezipoloze



Obr. 3.6. Přípravek pro upevnění drátu v sestavě



Obr. 3.7. (nahore) Otočný stůl v poloze před osazením přípravkem

Obr. 3.8. (uprostřed) Yoke-Poke, tabule s kontrolou založených dílů

Obr. 3.9. (dole) Rozvaděč se silovou částí, PLC, měnič pro servopohon stolu



1. Světelná závora. Chrání obsluhu před zraněním otočným stolem. Závora je zapojena přímo do ochranného okruhu pracoviště. V případě otáčení stolu musí být okruh uzavřen. V momentě, kdy je závora přerušena, okamžitě je servopohonu zapnuta brzda (24 V) a odpojena silová část (400 V). Pro uvolnění a opětovné spuštění je potřeba potvrzení na ovládacím panelu.
2. Otočný stůl. Zde na obrázku prozatím neosazen přípravkem. Přípravek je možno měnit dle požadovaného sortimentu. Prozatím použit pouze jeden typ na obou stranách otočného stolu. Přípravky jsou identické, ale pro případ drobných odchylek jsou vytvořeny samostatné programy pro každou stranu stolu.
3. Poka-yoke. Jedná se o zařízení, které upozorňuje obsluhu na posloupnost zakládání dílů. Každý drát má svojí LED diodu signalizující svůj stav. Blikáním červenou barvou je zde signalizován požadovaný díl. Pokud je díl zaznamenán indukčním snímačem, dioda změní barvu na zelenou a rozbliká se další díl. Užitečná pomůcka pro obsluhu. Poka-joke je výraz z japonštiny a znamená minimalizaci neúmyslných chyb tzn., že založení dílu je uzpůsobeno tak, aby bylo možné tuto operaci provést pouze jediným možným způsobem. Systém poka-joke dělá výrobní operace chybuvedornými a zamezuje obsluze zařízení založit díly ve špatném pořadí. Původně zněl výraz baka-joke, což ovšem v překladu znamená „blbuvzdornost“, proto byl název upraven na politicky korektnější poka-joke.
4. Tlačítko nouzového stopu. Tlačítko normované barvy a tvaru, které je používáno obsluhou pracoviště v případě nebezpečí. Po stisku tlačítka se veškeré pohyblivé části zařízení okamžitě zastaví, zprovozní se brzda a odpojí silová část. Pro opětovné zprovoznění musí být tlačítko uvedeno zpět do správné pozice a ostatní části zařízení uvedeny od výchozího stavu. Například na ovládacím panelu PLC potvrzena a kvitována chyba, roboty uvedeny do nastavené (pro systém robota známé) pozice a opětovné potvrzení a kvitování chyb.
5. Tlačítko potvrzení. Obsluha po založení stiskne tlačítko. Pokud se nachází mimo závoru, snímače na otočném stole vyhodnotí správně přítomnost všech dílů, a pokud roboty dokončily svoji práci, PLC otočí stolem do pozice k robotům a zahajuje svařovací sekvenci. Tlačítka potvrzení a nouzového stopu na každé straně sloupku jsou duplicitní, aby byli stále v dosahu.
6. V jedné svařovací buňce se nacházejí dva identické roboty KUKA s označením KR180R2500. Parametr 180 udává nosnost v kilogramech na koncovém prvku robota, tedy na konci celého sériového, kinematického řetězce a zaručuje zákazníkovi požadované vlastnosti jako např. přesnost, opakovatelnost až do $\pm 0,06$ mm, atd.



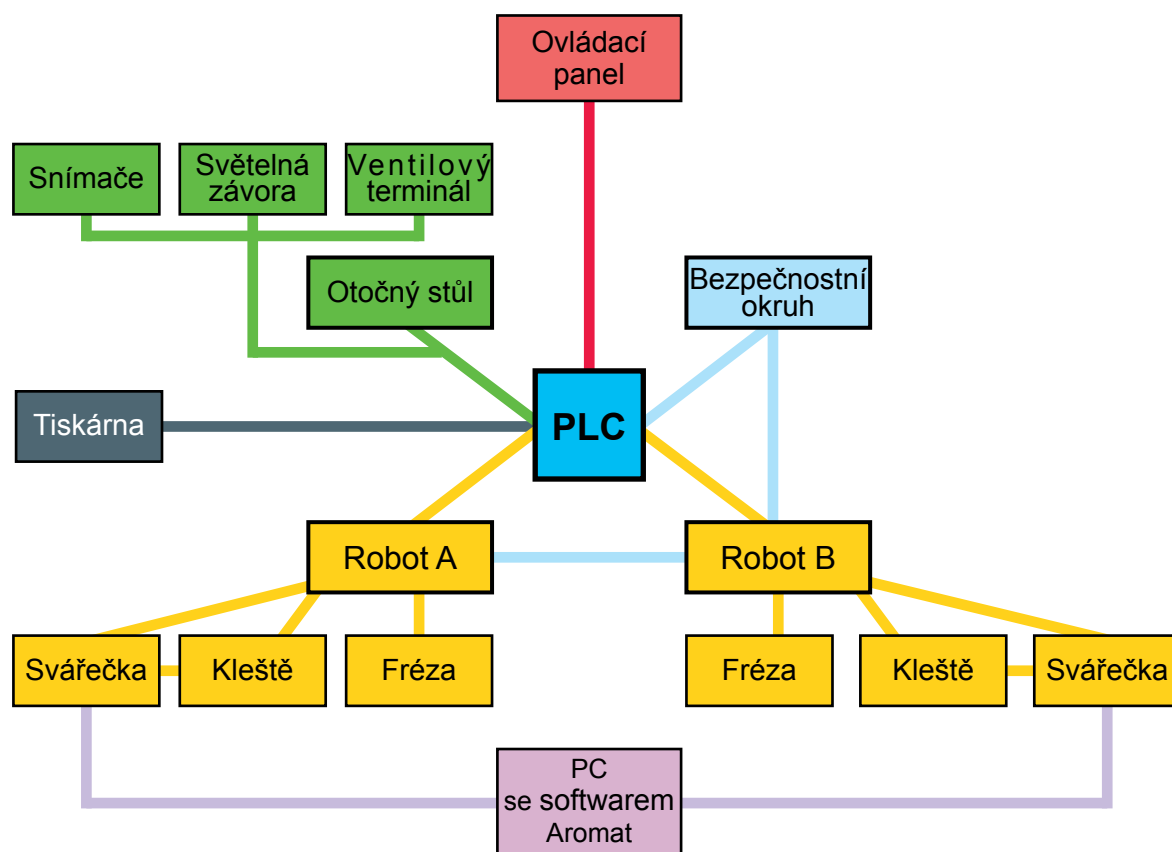
Druhý parametr 2500 označuje v milimetrech maximální dosažitelný rádius. Dosah 2,5 metru je zamýšlen ke koncové přírubě. V našem případě jsou k přírubě robota uchyceny svařovací kleště s délkou cca 1,2 m. Po sečtení obou hodnot máme velice slušný dosah přesahující 3,5 metru. Robot je řízen pomocí PLC, ale ovládá si své vlastní periférie, zejména středofrekvenční invertor, kleště a frézka. Frézky svařovacích elektrod třískově opracovávají povrch a boky čepičky a rapidně jim tak prodlužují životnost. Četnost frézování lze samozřejmě nastavit v menu programu.

7. Zakládací přípravek. Pneumatické zařízení pro založení a uchycení drátu v pevné poloze. Přípravek musí drát udržet v době svařování a zároveň jej nesmí poškodit. Žádné otlaky na povrchu drátů, ani žádné jiné mechanické poškození. Dále je potřeba, aby obsluha na konci svařovací sekvence mohla celý svařenec pohodlně vyjmout. Každý jednotlivý drát je dále hlídán indukčním snímačem a zpravidla dvoupolohovými upínacími segmenty (upínky). Každá poloha je opět snímána magnetickým snímačem. Snímače jsou vyhodnocovány PLC a to adekvátně reaguje například hlášením na ovládacím panelu.
8. Na přípravku se také nachází ventilový terminál. Ten pak v závislosti na přijatém elektrickém signálu z PLC otevírá a zavírá jednotlivé vzduchové ventily, které ovládají pohyb upínek. Pro ovládání bylo použito tlaku 6 barů.
9. Ovládací panel. Slouží k ovládání celého pracoviště bez potřeby jakýchkoliv znalostí použitých programovacích jazyků. Panel obsahuje dotekovou obrazovku upravenou pro použití v průmyslu a dalších 6 volitelných tlačítek. Pomocí softwaru WinCC Flexible bylo vytvořeno několik obrazovek pro pohodlné ovládání a zobrazení stavu důležitých signálů. Viz kapitola 3.3.
10. Programovatelný automat PLC (neboli Programmable Logic Controller). Hlavní řídicí počítač, který obsahuje vstupně-výstupní jednotky a programovatelný procesor. Pro PLC je charakteristické vykonávání programů v cyklicky se opakujících smyčkách.
11. Jističe. Rozvaděč obsahuje mimo jiné i jistící a ochranné prvky, které chrání elektrické zařízení před nežádoucím poškozením nebo obsluhu před úrazem elektrickým proudem.
12. Měnič pro servopohon otočného stolu.

3.3 Struktura řízení jednotlivých zařízení

V této podkapitole se pokusím ujasnit, co které zařízení ovládá. V každé svařovací buňce máme tři inteligentní zařízení, která umožňují určitou formu řízení. Programovatelný automat PLC je v našem případě zvolen jako nejvyšší stupeň řízení. Na nižším stupni jsou dva roboty, které jsou spouštěny do automatického režimu právě pomocí PLC. PLC dále ovládá měnič otočného stolu a prvky na tomto stole umístěné. Kontroluje přítomnost dílů, ovládá ventilovým terminálem upínky nebo například stav světelné závory. Dále pak vyhodnocuje uzavření bezpečnostního okruhu, v němž jsou sériově připojeny i oba roboty. Vše pak podrobně zobrazuje na obsluhou ovládaném panelu. Ten slouží jako hlavní komunikační rozhraní s obsluhou. Po úspěšném ukončení cyklu pak následuje tisk štítku. Informaci o stavu svaření získá PLC od robotů.

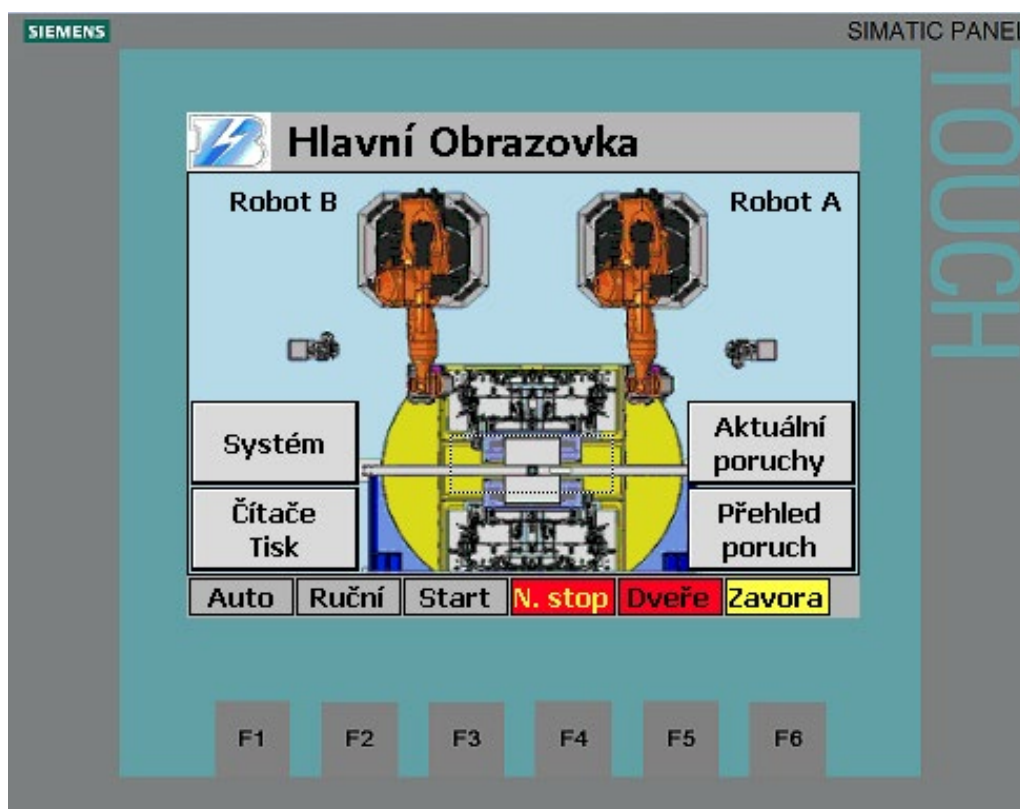
Robot, zástupce nižšího stupně řízení, pak ovládá zařízení uvnitř buňky. Na signály každého robota jsou připojeny vstupy a výstupy svařovacích kleští, frézovací zařízení a středofrekvenční inverter. Roboty vzájemně mezi sebou propojeny nejsou, signály o povolení a uvolnění se zasílají přes PLC. Pokud jeden robot nemá povolení, do zóny, kterou hodlá obsadit, PLC nastaví signál povolující pohyb (\$MOVE_ENABLE) do logické 0. Stejně tak není PLC propojeno s prvky řízenými robotem.



Obr. 3.10. Schéma řízení svařovacího pracoviště

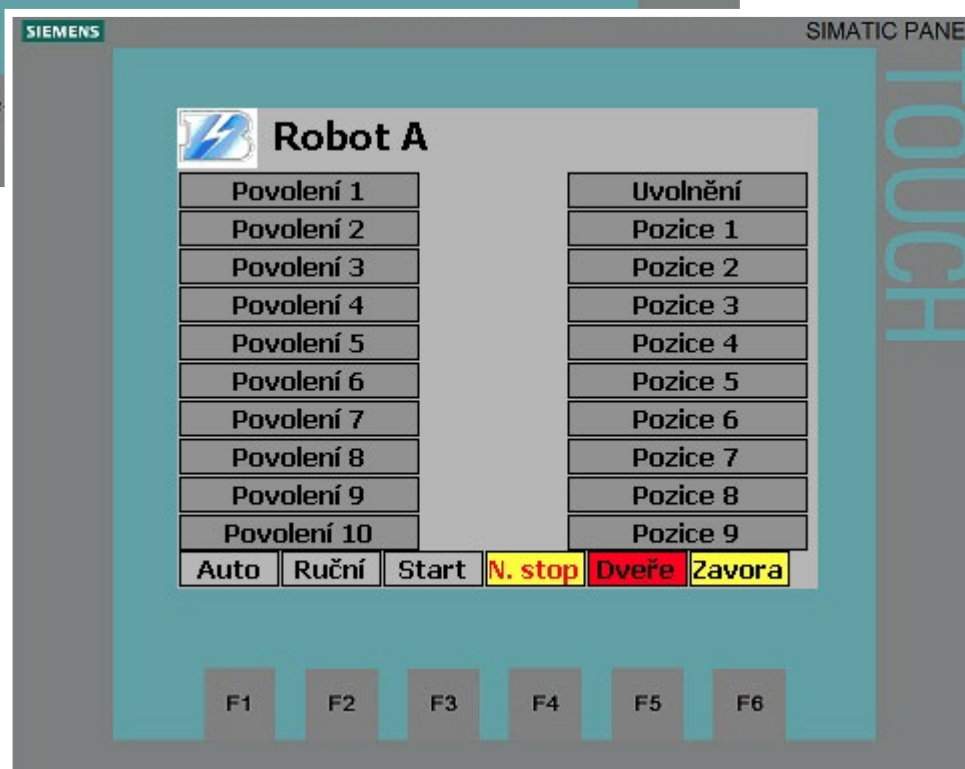
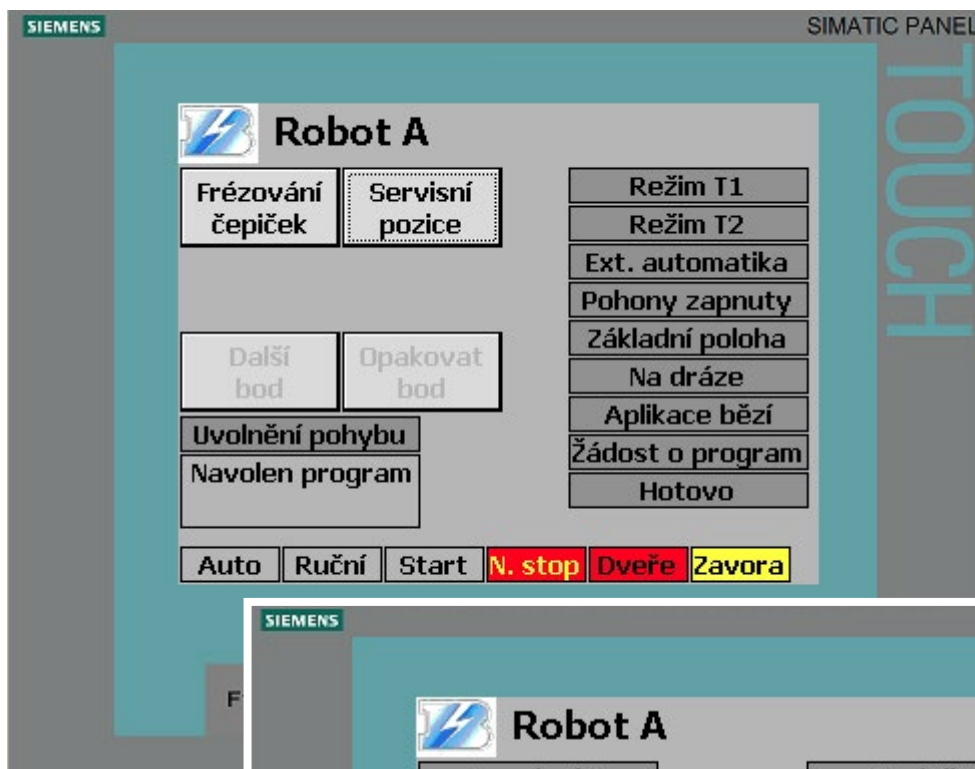
3.4 Ovládací panel

Správně navržený ovládací panel by měl být především dobře ovladatelný, dobře zapamatovatelný a obsluha by neměla mít problém se pohybovat v menu ani v jednotlivých dílčích obrazovkách.



Obr. 3.11. Hlavní obrazovka ovládacího panelu

Na hlavní obrazovce je zobrazeno svařovací pracoviště. Stiskem na jednotlivé části pracoviště (např. stiskem na vyobrazení robota A se otevře menu pro ovládání tohoto robota, stiskem na otočný stůl se přepne na menu stolu, atd...) se lze pohybovat. Po chvíli používání se tento systém velmi osvědčil a stal se intuitivně ovladatelný i pro nově příchozí personál. Klávesy F1 až F6 na spodní části obrazovky slouží k přepínání automatický/ruční režim a odstartování automatiky. Vše je barevně podsvětleno, kde červená klasicky znamená problém a zelená vše v pořádku. Další klávesy jako jsou **N.stop**, **Dveře** a **Zavora** slouží ke kvitování poruchových stavů. Pokud jsou odstraněny příčiny, např. zavřeny dveře, uvolněno tlačítko nouzového stopu či odstraněna překážka z prostoru světelné závory, pak je bezpečnostní okruh uzavřen a ikonka změní barvu na zelenou. Další, tentokrát již jen virtuální tlačítka, zobrazují obsáhlou databázi chyb a opatření na jejich odstranění, nulování čítačů a systémové záležitosti (například administrace obsluhujícího personálu, některé signály, systémový čas, atd.).



Obr. 3.12. (horní) Obrazovka s menu robota A

Obr. 3.13. (dolní) Obrazovka s menu povolení a uvolnění robota A

Jednoduchým kliknutím na vyobrazení robota na hlavní obrazovce se obsluha pracoviště dostane do menu ovládání robota (obr. 3.12.). Jsou zde vyobrazeny důležité signály externí automatiky a ruční spouštění podprogramů **Frézování čepiček** a **Servisní pozice**. Robot po napočítání předdefinovaného počtu provádí tyto operace sám. Zde v menu je možné obsluhou tyto operace uspišit. Tlačítka **Další bod** a **Opakovat bod** slouží k rozhodování v reakci na poruchu sváru, pokud svařovací bod



z nějakého důvodu nesplňuje parametry. Nejčastěji se jedná o obsluhu chybně založený nebo naohýbaný drát. Po vyhlášení poruchy obsluha rozhodne, zda svářečka opětovně bod svaří, a nebo pokračuje v programu.

Další menu (obr. 3.13.) zobrazuje vzájemné signály mezi PLC a robotem A. PLC povoluje pohyb v přípravku do určitých míst na základě signálů **Povolení**. Robot opětovně dává signál **Uvolnění**, pokud tuto oblast opustí. Celá tato složitá výměna signálů slouží k zabránění možné kolizi s druhým robotem nebo s případně uzamčenou upínkou. PLC v reálném čase vyhodnocuje, který z robotů si pracovní oblast přípravku zabral a druhý musí počkat na **Uvolnění** prvního robota a **Povolení** z PLC. Stejný systém funguje i pro přípravek. Některé svařovací body se nachází pod zamčenou upínkou. Ta může být odemčena a svařovací bod zpřístupněn až v případě, že jsou ostatní body v okolí svařeny a drát v přípravku drží i bez upínky.

Na ovládacím panelu se nachází mnohem více obrazovek, ale jako programátor robotů jsem si účelově vybral pouze ty obrazovky, které s roboty a jejich ovládním bezprostředně souvisí.

3.5 Důležité systémové proměnné

V souboru parametrů robota KUKA se nachází velké množství systémových proměnných, které slouží k pohodlnějšímu a hlavně bezpečnějšímu ovládní robotů. Všeobecně je systémová proměnná označena značkou dolaru před názvem.

3.5.1 \$ADVANCE

Proměnná ADVANCE slouží k nastavení předstihu robota. Jedná se o přednačítání a provedení příkazů z jednotlivých řádků v programu. Standardně je proměnná nastavená na hodnotu 3. V praxi to vypadá tak, že robot má trajektorii určenou seznamem jednotlivých bodů určujících přesnou polohu v prostoru. Program dokáže načíst tyto polohy dopředu a pohyb robota se tak stává rychlejší, plynulejší a trajektorie je lépe vyhlazena. Tato proměnná díky tomuto vyhlazení výrazně zvyšuje životnost mechanických částí a servopohonů robota. Problém přednačítání programového kódu, spočívá v tom, že pokud za pohybovým bodem máme signály, jsou tyto signály provedeny ještě dříve, než do požadovaného bodu robot dorazí. Pokud oním signálem je například signál o ukončení procesu, opuštění zóny nebo konec blokování dalšího zařízení, může dojít ke kolizi robota s otočným stolem, přivření robota do lisu nebo mnoha jiným nevratným poškozením robota či dalších zařízení, případně i zranění obsluhy.



3.5.2 \$ALARM_STOP

Proměnná je vztažena k bezpečnostnímu nouzovému stopu. Pokud je sepnutý, proměnná je ve stavu TRUE. Není-li, pak je FALSE.

3.5.3 \$AUT, \$EXT, \$T1, \$T2

Proměnná určuje polohu otočného přepínače na ovládacím panelu. Vždy může být ve stavu TRUE pouze jedna proměnná. Ostatní jsou FALSE. Čtyřpolohový přepínač určuje režim automatika, externí automatika, ruční režim pomalý T1 a ruční režim T2 s normální rychlostí.

3.5.4 \$CONF_MESS

Nastavení této proměnné umožňuje řídicímu počítači vymazat chybové hlášení. Nutná podmínka pro spouštění robota v externí automatické. Vyhodnocena je pouze náběžná hrana, nestačí tedy mít tento vstup trvale ve stavu TRUE.

3.5.5 \$DRIVES_OFF a \$DRIVES_ON

Opět další signály pro ovládání robota v externí automatické. Negativní vstupní signál \$DRIVES_OFF vypíná pohony robota. Vyhodnocuje se náběžná hrana v minimální délce 20 ms. Pro spouštění robota musí být trvale nastaven do stavu TRUE. Pokud nechceme vypínat pohony z externího zařízení, stačí jej trvale sepnout po zapnutí robota a dále si signálu nevšímáme. Signál \$DRIVES_ON zapíná pohony robota kladným pulzem. Pro spuštění externí automatiky se bez tohoto signálu neobejdeme.

3.5.6 \$PERI_RDY

Deklarace signálu, zda jsou sepnuté pohony. Informace důležitá pro řídicí počítač, po aktivování pulzu do proměnné \$DRIVES_ON.

3.5.7 \$EXT_START

Tímto vstupem lze spouštět start programu za předpokladu, že jsou všechny podmínky pro spuštění splněny. Po náběžné hraně se spustí program určený předem



definovanou cestou nebo defaultně vytvořený program CELL.SRC. Podmínkami pro externí start jsou přepnutý přepínač na ovládacím panelu, náběžná hrana na signálu \$DRIVES_ON, trvale aktivní vstup \$MOVE_ENABLE, hlášky a chyby kvitované na vstup signálu \$CONF_MESS. Poslední zbývající podmínkou pro spuštění programu je \$EXT_START.

3.5.8 \$IN_HOME

Tímto vstupem informuje robot řídicí počítač o tom, zda se nachází v základní pozici, pozici HOME. Tato pozice by měla být zvolena tak, aby nebylo žádné jiné pohyblivé zařízení v žádném případě v kolizi s touto v pozicí. Je to základní pozice, ze které bude robot provádět programovou dráhu a po vykonání práce se opět do této pozice navrátí. Roboty KUKA umožňují naprogramovat až 6 HOME pozic.

3.5.9 \$MOVE_ENABLE

Tímto vstupem řídicí počítač povoluje a zakazuje pohyb robota. Stav TRUE umožňuje ruční polohování anebo spustit program. Stav FALSE zakazuje veškerý pohyb robota. Vypnul-li programovací automat PLC pohony robota, na ovládacím panelu se objeví hláška „Pohony vypnuty“. Robotem lze pohybovat pouze tehdy, je-li tato zpráva smazána a obdržel-li robot další signál externího startu. Novější typy robotů s označením KRC 4 obsahují servisní režim, kde je s robotem možné pohybovat, ale pouze v pomalém ručním režimu T1.

3.5.10 \$ON_PATH

Výstup je nastaven na TRUE, nachází-li se robot na své programové dráze. Výstup \$ON_PATH je nastaven poté, co je uveden na první známou pozici, obvykle HOME pozici. Tento výstup zůstává nastaven do té doby, než robot opustí svou dráhu nebo je resetován program.

3.5.11 \$NEAR_POSRET

Tímto parametrem lze ovlivnit toleranci okolo programové dráhy, ve které ještě zůstává signál ON_PATH ve stavu TRUE. Uživatel může v souboru \$CUSTOM.DAT nastavit poloměr kulové plochy okolo právě procházejícího bodu pomocí parametru \$NEARPATHTOL.



3.5.12 \$POS_RET

Poloha \$POS_RET je poloha, kde robot opustil programovou dráhu. Do této pozice se pak lze i navrátit a pokračovat v dráze.

3.5.13 \$PRO_ACT

Výstup je vždy nastaven na log. 1, jestliže robot vykonává nějaký proces nebo program. Signál je odvozen od systémové proměnné \$PRO_STATE:

\$PRO_STATE = #P_ACTIVE	▶	\$PRO_ACT = TRUE
ostatní stavy procesu	▶	\$PRO_ACT = FALSE

Tento signál je během vykonávání programu ve stavu TRUE, do stavu FALSE je uveden signál na konci programu, bylo-li aktivováno přerušení nouzovým stopem, shozeny pohony, kolizí robota apod...

3.5.14 \$PRO_STATE

Tento signál deklaruje přesný stav procesu, ve kterém se program nachází. Proměnná je datového typu a mohou nastat tyto stavy:

#P_FREE	▶	Program není navolený.
#P_RESET	▶	Program navolen.
#P_ACTIVE	▶	Program je aktivní.
#P_STOP	▶	Program byl zastaven.
#P_END	▶	Konec programu dosažen.

3.5.15 \$OV_PRO

Procentuální nastavení aktuální rychlosti programu na ovládacím panelu. Dle polohy přepínače rozlišujeme rychlost na tzv. normální rychlost, pro všechny stavy přepínače, krom polohy ručního režimu T1, která je 10x pomalejší.

3.6 Vstupy a výstupy externí automatiky

Před tím, než započneme s uvedením svařovacího pracoviště do automatického režimu, musíme splnit několik základních podmínek. Robot musí být vždy na dráze a ve startovací pozici (Home pozice). Celkem logicky se nesmí robot rozjíždět z neznámého místa do některého bodu v trajektorii, protože na trase by se mohla nacházet překážka. Obsluha je povinna robota nejprve v ručním režimu do počáteční pozice vmanipulovat. Další z podmínek je spuštěný program Submit Interpreter (viz kapitola 5.3.) a přepínač volby režimů v pozici externí automatiky. Tento typ automatiky požaduje spouštěcí sekvenci určitých signálů. Veškeré tyto signály jsou vypsány ve dvou následujících tabulkách. Zdaleka ale není potřeba mít všechny signály deklarované. Po deklaraci nelze systémové proměnné měnit, proto je rozumné zvolit takový adresový prostor, kde se nebudou signály externí automatiky mísit s běžně používanými binárními signály.

Vstupní signály od PLC do robota pro spuštění externí automatiky:

Název proměnné	Popis proměnné
\$PGNO_FBIT	První bit z čísla programu. Automaticky se pak obsadí dalších 7 bitů. Číslo programu je vždy celý byte.
\$EXT_START	Start externí automatiky.
\$MOVE_ENABLE	Povolení pohybu. Vždy při pohybu nastaven v log. 1.
\$CONF_MESS	Kvitovat chybové hlášení.
\$DRIVES_ON	Zapnutí pohonů. Reakce na náběžnou hranu.
\$DRIVES_OFF	Vypnutí pohonů. Reakce na sestupnou hranu.
\$I_O_ACT	Aktivace vstupně / výstupního rozhraní.
\$IMM_STOP	Nouzové zastavení aktivované PLC.

Tab. 3.1. Vstupní proměnné extení automatiky

Výstupní signály od robota do PLC pro spuštění externí automatiky:

Název proměnné	Popis proměnné
\$RC_RDY1	Řídicí systém robota je připraven.
\$ALARM_STOP	Závažný poruchový stav. Např. nouzový stop.
\$T1	Volba provozu. Ruční režim, zpomalený.
\$T2	Volba provozu. Ruční režim, reálný. Odpovídá automaticce.
\$AUT	Volba provozu. Interní automatika.
\$EXT	Volba provozu. Externí automatika.
\$I_O_ACTCONF	Potvrzení aktivace vstupně / výstupního rozhraní.
\$STOPMESS	Porucha.
\$USER_SAF	Bezpečnostní okruh uzavřen.
\$PERI_RDY	Pohony robota připraveny.
\$IN_HOME	Robot v počáteční pozici.
\$ON_PATH	Robot na dráze.
\$ROB_STOPPED	Robot zastaven.
\$PRO_MOVE	Robot v pohybu.
\$PRO_ACT	Program aktivní, právě vykonáván.

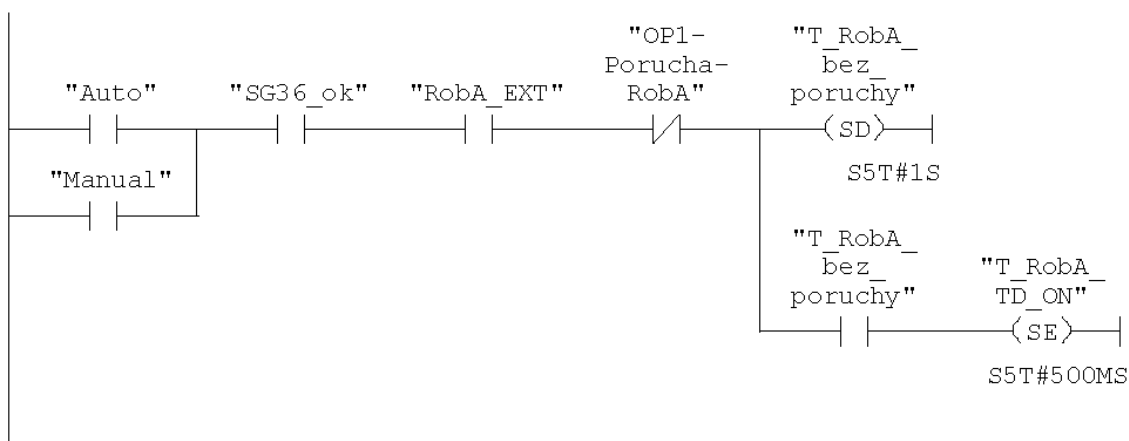
Tab. 3.2. Výstupní proměnné externí automatiky

Na obou tabulkách je vidět jasný nepoměr v signálech vstupních a výstupních. Je to dáno tím, že robot je v režimu externí automatiky podřízený vyšší úrovni řízení a PLC má možnost komplexního hlídání robota a jeho stavů. Oproti tomu robot jako podřízené zařízení potřebuje ke spuštění nejjednodušší automatiky pouze 3 signály. V případě, že zajistíme trvale sepnutý signál \$MOVE_ENABLE, například stykačem po zapnutí pracoviště, nemusíme tento signál řešit. Dále pak stačí náběžná hrana na signálu \$DRIVES_ON a \$EXT_START. Pro kvitování možných chybových hlášení, případně signál \$CONF_MESS.

3.7 Start robota v automatickém režimu pomocí PLC

V následující kapitole bude pro představu zobrazena část programového kódu PLC pro spouštění robota A do automatického režimu. Mezinárodní norma IEC 1131-3 sjednocuje 4 programovací jazyky, kde PLC programátor má obvykle možnost volby mezi jazykem mnemokódů, jazykem kontaktních (reléových) schémat, jazykem logických schémat a jazykem strukturovaného textu. Z viditelné struktury programu je poznat, že náš program byl vytvořen pomocí kontaktních schémat.

Network: 3



Symbol information

M10.3	Auto	Rezim automaticky provoz pracoviste
M10.2	Manual	Rucni rezim pracoviste
M2.2	SG36_ok	Ochranny obvod v poradku
I102.2	RobA_EXT	Rob A OUT 19 ROBOT AUTOMATIKA EXTERN
M9.4	OP1-Porucha-RobA	Porucha zpusobujici zastaveni robota
T12	T_RobA_bez_poruchy	
T13	T_RobA_TD_ON	

Network: 5 Rob A IN 12 POHONY ZAP



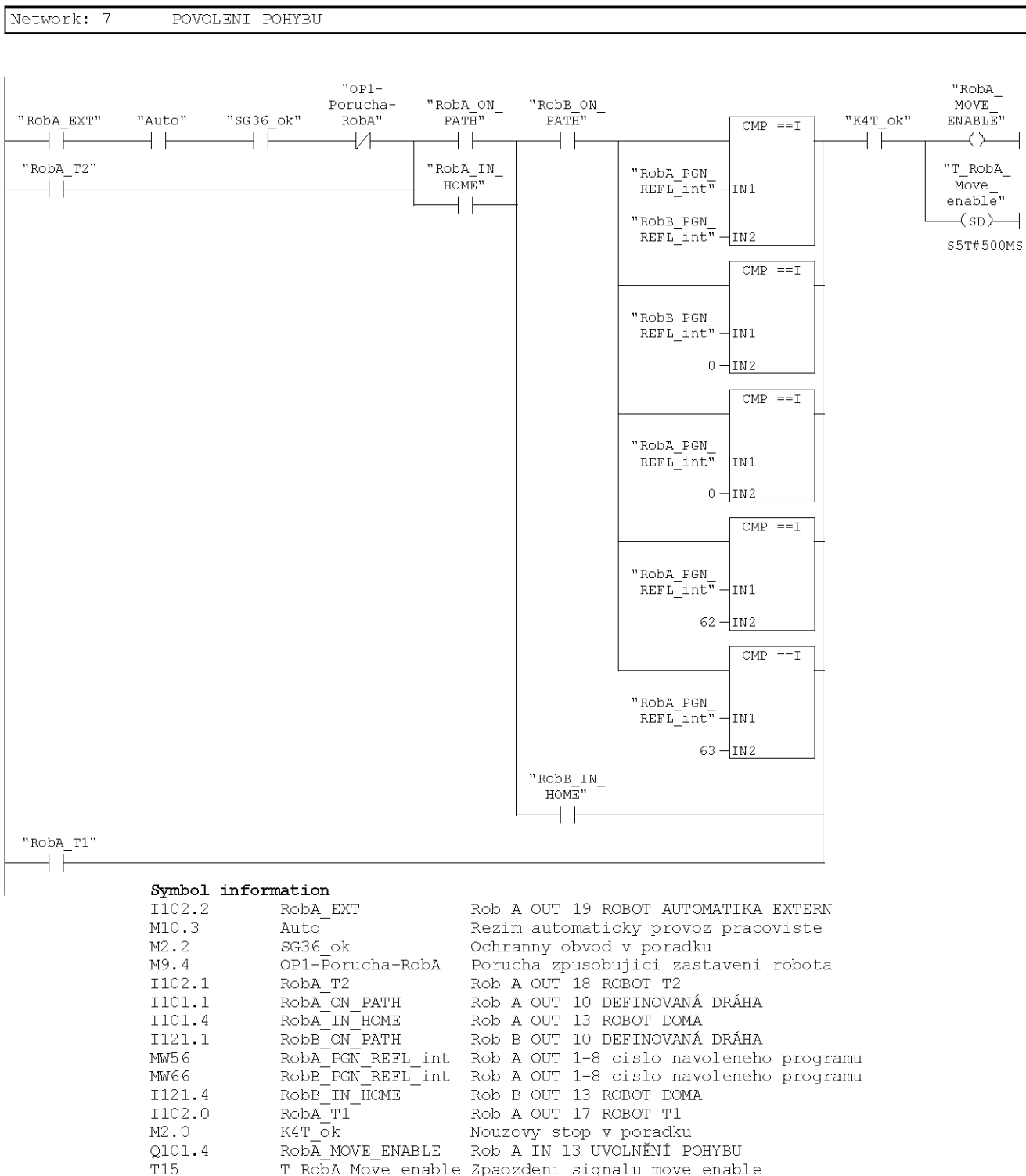
Symbol information

T13	T_RobA_TD_ON	
Q101.3	RobA_DRIVES_ON	Rob A IN 12 POHONY ZAP

Sch. 3.7.1. Schéma části programu PLC - 1.část



Každý blok schématického řetězce je označen v záhlaví jako Network x. V řetězci č. 3 jsou znázorněny podmínky pro spuštění automatiky (viz kapitola 5.5.). Tedy ochranný obvod, přepnutí v automatickém režimu, robot v externí automatice, bez poruchy, atd. Tyto podmínky nastaví signál pro spuštění \$DRIVES_ON, znázorněný v řetězci č. 5. Řetězec č. 7 zobrazuje nastavení signálu \$MOVE_ENABLE do log. 1.



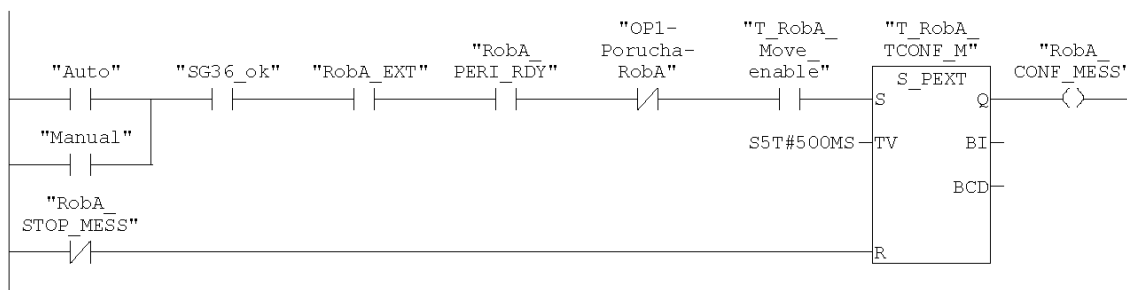
Sch. 3.7.2. Schéma části programu PLC - 2.část



Výhodou reléového schématu je, že v on-line režimu lze díky barevnému podbarvení snadno a rychle zjistit nesplněnou podmínku. V obsáhlém řetězci č. 7 vedou ke splnění podmínky tři větve. U první, dolní větve je pro nastavení \$MOVE_ENABLE do log. 1 nutno pouze zvolit přepínač na ovládacím panelu robota do režimu T1. V prostřední větvi je podmínka splněna za předpokladu přepnutí přepínače do režimu T2 a zároveň, že je robot na dráze nebo ve startovací pozici. Nejsložitější, horní větev nastaví signál pro uvolnění pohybu v případě volby přepínače do externí automatiky, uzavření bezpečnostního okruhu, oba roboty jsou na dráze nebo ve startovací pozici, při bezporuchovém stavu PLC a některý z komparačních bloků porovnávající čísla programů obou robotů. Vždy ale může být zvolena pouze jedna větev.

Náběžná hrana signálu \$CONF_MESS, tedy kvitování hlášení, je zobrazena v řetězci č. 8. Podmínky pro spuštění jsou téměř totožné, signál pouze přichází se zpožděním 500 ms poté, co robot obdrží signál pro uvolnění pohybu. Poslední signál chybějící ke spuštění automatiky je znázorněn v řetězci č. 9. Jedná se o \$EXT_START. Nyní se robot, pokud byly splněny všechny podmínky, nachází v automatickém režimu.

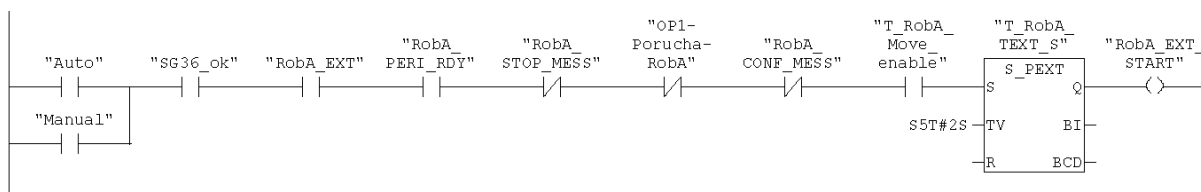
Network: 8 Rob A IN 11 KVITOVÁNÍ PORUCHY



Symbol information

M10.3	Auto	Rezim automaticky provoz pracoviste
M10.2	Manual	Rucni rezim pracoviste
M2.2	SG36_ok	Ochranny obvod v poradku
I102.2	RobA_EXT	Rob A OUT 19 ROBOT AUTOMATIKA EXTERN
I101.3	RobA_PERI_RDY	Rob A OUT 12 POHONY BEZI
M9.4	OP1-Porucha-RobA	Porucha zpusobujici zastaveni robota
T15	T_RobA_Move_enable	Zpaozdeni signalu move enable
I101.2	RobA_STOP_MESS	Rob A OUT 11 ROBOT PORUCHA
T10	T_RobA_TCONF_M	
Q101.2	RobA_CONF_MESS	Rob A IN 11 KVITOVÁNÍ PORUCHY

Network: 9 Rob A IN 10 EXTERNI START

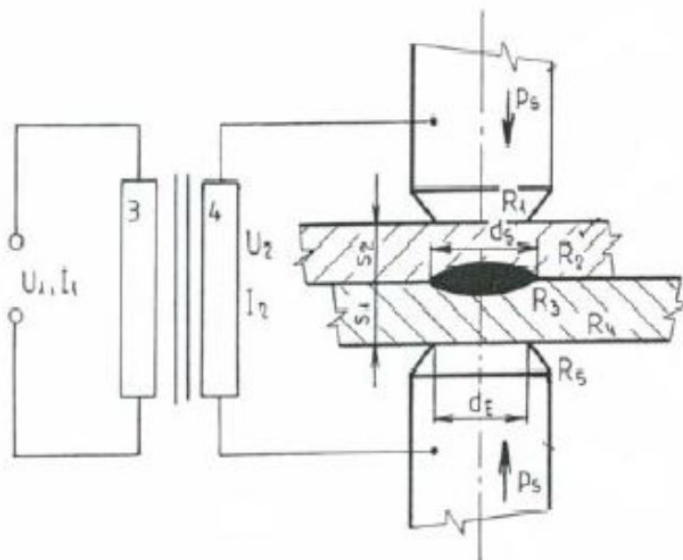


Sch. 3.7.3. Schéma části programu PLC - 3.část

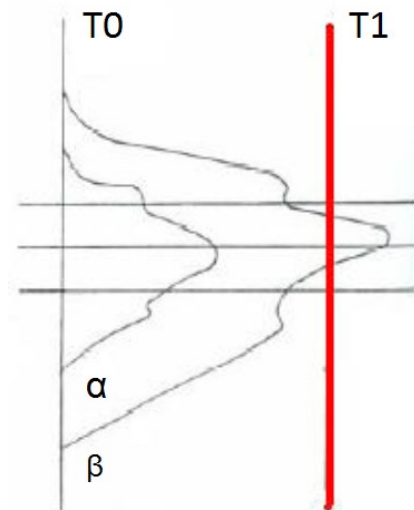
4. Teorie svařovacího procesu a optimalizace svárů

4.1 Princip odporového svařování

Svařovací metoda známá jako odporové svařování je založena na využití Jouleova, nebo-li odporového tepla, které vzniká při průchodu svařovacího proudu mezi spojenými materiály. Teplo potřebné ke svaření dvou součástí vzniká přímo v nich, na povrchu a nejbližším okolí místa styku. Nejvyšší teplota vzniká ve styku obou plechů mezi elektrodami. Spojené materiály jsou stlačovány mezi dvěma měděnými elektrodami (tzv. kleštěmi), které jsou chlazeny vodou, a do kterých je přiveden elektrický proud. Tyto materiály pak tvoří, přes elektrody propojenou, součást elektrického okruhu. Spojení provádí větší nebo menší tlak během ohřevu a nebo k jeho konci.



Obr. 4.1. Schéma uspořádání



Obr. 4.2. Průběh teplot
(α po době 0,02 s, β po 1s)

V místě doteku elektrod vzniká díky přechodovému elektrickému odporu a tlaku, které na materiál vytvoří kleště, svárový spoj v podobě svárových čoček (bodový svár). Odporový svár se může vytvořit, je-li materiál ve stavu plastickém nebo tekutém. Plastickým spojem se rozumí, že materiál svařovaných součástí se ohřeje a stane se tvárným. V tekutém stavu se kov začíná tavit. Vytvoří se tekuté jádro (čočka). Jakmile jádro dosáhne požadovaných rozměrů, vypne se svařovací proud, svár se ochlazuje a vytvoří se tak metalurgický spoj. Elektrody působí ještě určitou dobu na chlazení svárů tzv. kovací silou. Znamená to tedy, že rozsah teplot, při kterých dochází ke sváření, je značný.

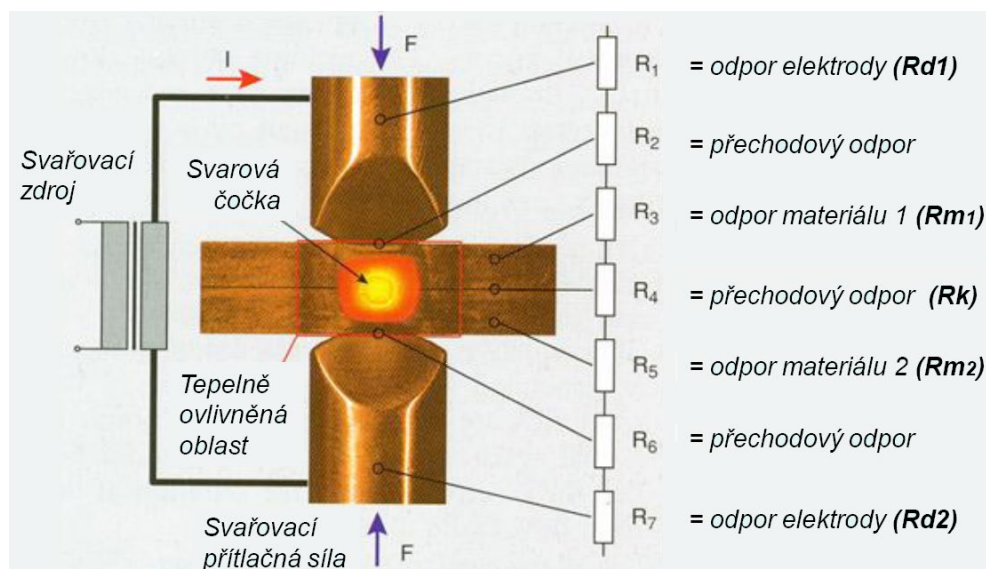
Množství vznikajícího tepla lze stanovit dle Joule - Lenzova zákona:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J] \text{ nebo } [* 0,24 \text{ cal}]$$

kde: Q je množství tepla v Joulech
R je součet všech elektrických odporů v Ohmech
I je velikost protékajícího proudu v Ampérech
t doba průchodu proudu v sekundách

Při praktickém využití uvedené závislosti pro svařování pak regulačními prvky daného svaročacího zdroje můžeme ovlivnit velikost proudu I_{sv} , dobu průchodu proudu t_{sv} a hodnotu přitlačné síly F_{sv} , která částečně ovlivňuje velikost odporu R , který je jinak pevně daný svařovaným materiálem a druhem elektrod. V místě sváru můžeme vysledovat několik dílčích elektrických odporů, jejichž součet tvoří výsledný odpor R_{sv} , který se podílí na tvorbě tepla. Výsledný odpor lze pak vyjádřit vztahem:

$$R_{sv} = R_{m1} + R_{m2} + R_{d1} + R_{d2} + R_k$$



Obr. 4.3. Přechodové a materiálové odpory

Odpor doteku elektrod (R_d): ve speciálních případech se mohou lišit, při odporovém svařování jsou nežádoucí

Odpory svaročacích materiálů (R_m): mohou se rovněž lišit a to buď vlivem tloušťky (průřezu) jednotlivých částí nebo vnitřním odporem při svařování nestejných druhů materiálů



Odpor mezi svařovacími materiály (R_k): jsou vlastnosti dány tloušťkou a odporem vrstvy oxidů, nerovnosti povrchových vrstev, velikosti přitlačné síly apod. Mluvíme zde o tzv. přechodových odporech.

4.2 Svařovací režimy

Výše zmíněné působení svařovacích elektrod na svár kovací silou po vypnutí svařovacího proudu, tzv. kování sváru, se provádí za účelem zamezení vzniku staženin materiálu, tvořících se při chladnutí jádra sváru v důsledku smršťování kovu. V mnoha případech je nejslabším místem sváru okolí čocky. To je s největší pravděpodobností způsobené oduhličením okolí jádra sváru při svařování ocelových plechů až na čistý ferit. Zřejmě se zde projevuje difúze uhlíku směrem od jádra ven. Při větších rychlostech svařování se tento jev projevuje mnohem méně. Z toho důvodu je výhodnější používat tvrdý svařovací režim.

Pod termínem svařovací režim můžeme rozumět soubor vzájemných kombinací velikostí svařovacích parametrů. Tzv. měkký režim je kombinace relativně nižšího svařovacího proudu a tlaku s relativně delším svařovacím časem, zatímco tvrdý režim je naopak kombinace krátkého času s vyšším svařovacím proudem a tlakem. Současný stav poznání a praxe jednoznačně preferuje tvrdé svařovací režimy před měkkými. Hlavní výhodou je při používání vyšších svařovacích tlaků, a tedy snížení přechodového odporu dotyku R_d , menší opotřebenosti elektrod. Kladný vliv na životnost elektrod má i menší zahřívání elektrod. Tím také vznikají menší tepelné ztráty. Další nespornou výhodou tvrdého režimu je vyšší účinnost a produktivita, díky krátkému času svařování. Nevýhodou tvrdého svařovacího režimu pak bývají vyšší investiční náklady, kde svařovací stroj musí být vybaven pneumatickým nebo hydraulickým systémem (pro navození patřičného tlaku) a elektronickou regulací. Dále pak vyšší přitlačné síly a tlaky znamenají vyšší napětí ve svařovacích spojích. Tento tvrdý režim se používá především pro svařování legovaných ocelí, nezelezných kovů a jejich slitin.

Měkký svařovací režim se vlivem delších svařovacích časů vyznačuje typicky většími ztrátami energie vedením a sáláním tepla do okolí a do samotného svařovaného materiálu. Elektrody jsou také více tepelně namáhány, rychleji se znehodnocují a je nutná častější úprava nebo výměna. Deformace svárového spoje jsou větší a otisky elektrod hlubší. Struktura je spíše hrubozrnná a méně pevná. Při měkkém svařovacím režimu vzniká malý průměr svárové čocky se znatelnými otlaky po okraji. Největší výhodou tohoto režimu je, že snižuje nebezpečí zakalení materiálu, což je výhodné u ocelí s vyšším obsahem uhlíku. [20] str. 7

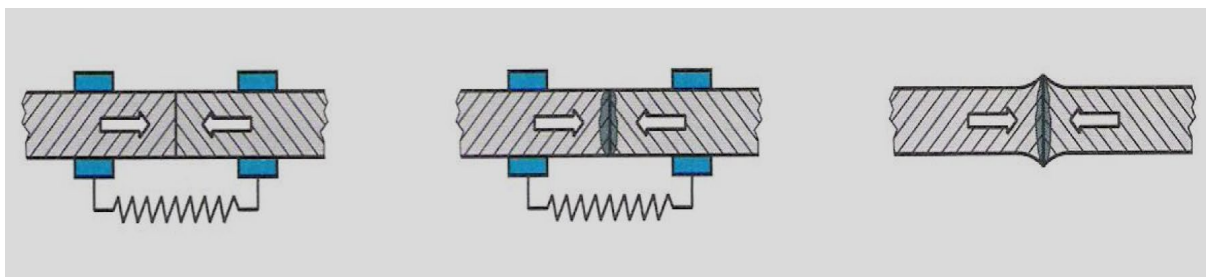
	Měkký režim	Tvrdý režim
Svařovací tlak p	do 50 N.mm ⁻²	~ 1000 N.mm ⁻²
Svařovací síla F	do 1000 N	~ 2000 N
Proudová hustota J	do 250 A.mm ⁻²	~ 500 A.mm ⁻²
Svařovací proud I	do 5000 A	~ 10 000 A
Svařovací čas t	nad 0,5 s	~ 0,16 s
(čas v periodách)	nad 25 per	~ 8 per

Tab. 4.1. Svařovací parametry měkkého a tvrdého režimu

4.3 Další metody odporového svařování

4.3.1 Stykové svařování

Stykové svařování se rozděluje na dva základní principy. První je svařování pýchovací. Pro tento způsob se používají lisy nebo speciální svařovací stroje s horizontálním uspořádáním. Svařovací plochy se musí před samotným svařováním obrobit a odstranit nečistoty, aby byly plochy paralelní a kolmo k ose upnutí. Pro zajištění metalurgické jakosti sváru musí svařovací plochy vždy dosedat v celé styčné ploše. Základní svařovací parametry jsou stejné jako u svařování bodového, ale místo svařovacího času se nastavuje délka zpracování (zpýchování).



Obr. 4.4. Princip stykového svařování

Při stykovém, pýchovacím svařování se materiál nahřívá svařovacím proudem, čímž změkne a postupně se natavuje a stlačuje do sebe až po koncové spínače svářečky, které po dosažení koncové polohy vypínají svařovací proud. Na místě styku se vytvoří malý výronek (hrbolek), který pracuje i po vypnutí proudu, dokud nevychladne a materiál neztuhne.

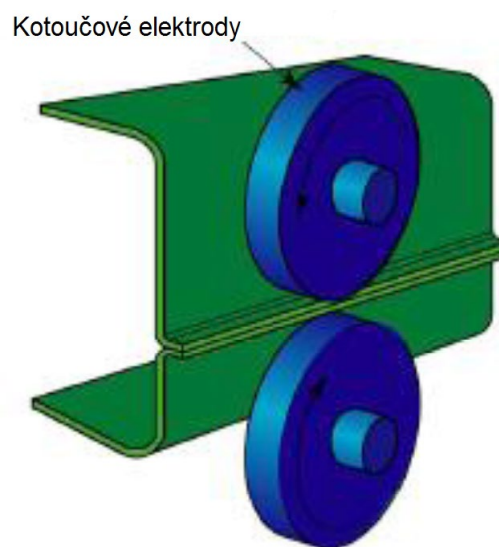
Výhodou je, že při tomto způsobu svařování nemusí být materiál plně nataven. Jedná se o určitou podobu kovářského svařování, kde se materiál svařuje tlakem v plastickém stavu.

Při stykovém svařování s odtavením se opět svařované díly upnou podobně jako při pýchovacím svařování, ale bez vzájemného kontaktu. Elektrický obvod tedy není uzavřen a teprve, až když se svařované díly lehce přiblíží a okamžitě odtrhnou, dojde na některých místech styku čelních ploch k lokálnímu přehřátí až na teplotu tavení materiálu. Tento reverzní pohyb se opakuje a natavovaná plocha se postupně zvětšuje na celý průřez, což je provázeno výstřiky oxidů z natavené lázně taveniny. Proces svařování trvá i několik desítek sekund. Výhodou této metody je, že není kladen tak velký důraz na čisté obrobení stykový ploch. Svárové plochy postupně vznikají v místech náhodných kontaktů neobrobených ploch.

Kromě plných průřezů se svařují i různé duté profily, rohové sváry dveřních zárubní, okenních rámců, apod. Stykové pýchovací svařování slouží zejména pro svařování drátů od průměru 0,4 mm a tyčí menších průměrů do průřezu 600 mm². Používá se zejména pro zpracování drátů, vodičů, betonářských výztuží, prodlužování vrtáků, napojování pásových pil nebo při výrobě ok řetězů. Stykové svařování s odtavením lze použít pro průřezy i větší než 10⁵ mm². Široké uplatnění této metody nacházíme při výrobě dopravních vozidel a jejich komponentů. Např. ráfky kol, čepy a klouby náprav, nebo při svařování kolejnic.

4.3.2 Švové svařování

Obdobný proces svařování jako je bodové svařování je i odporové svařování švové. Hlavní rozdíl je v tom, že svařovací elektrody jsou otočné a mají tvar kotoučů, mezi nimiž se odvalují svařované díly. Pokud by se kladky neodvalovaly a stály by, vytvořily by pouze jediný bodový svár v místě doteku elektrod, stejně jako bodové elektrody. Fyzikální princip je obdobný jako u bodových svářeček, liší se pouze svařovací parametry. Svařovací proud je obvykle až dvojnásobný než u bodového svařování. Přítlačná síla je také větší. Svařovací rychlost je totožná s obvodovou rychlostí elektrod a modulace svařovacího proudu se provádí přerušováním toku proudu.



Obr. 4.5. Elektrody pro švové svařování

Švovým svařováním se vytvářejí buď jednotlivé, nebo vzájemně se překrývající bodové sváry. S ohledem na charakter styku kotoučových elektrod se svařovanými díly a odbočování svařovacího proudu se švové svařování používá pro svařování plechů tloušťek 0,5 až 3,5 mm. Stejně jako při bodovém svařování se takto vytvářejí sváry přeplátované, např. těsnící sváry na lemech různých nádrží, lemy radiátorových žeber, podélných plechů, apod.

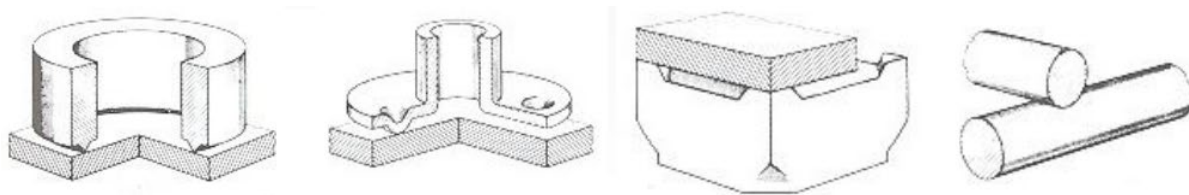


Obr. 4.6. Svár vytvořený metodou švového svařování

4.3.3 Výstupkové (bradavkové) svařování

Výstupkové svařování se provádí na svařovacích lisech a svařovací proces je umístěn do míst výstupků. Výstupky mohou být buď přirozené, vyrobené lisem, obráběním, případně se používají výstupky vkládané. Tvar a vlastnosti výstupků, jako tuhost a objem, mají výrazný vliv na průběh svařovacího procesu i výslednou kvalitu sváru.

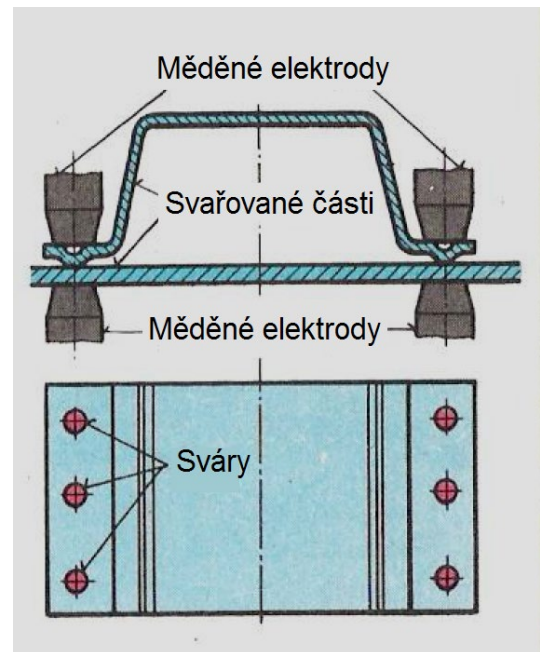
Princip výstupkového svařování spočívá v tom, že v počáteční fázi svařovacího procesu je svařovací proud koncentrován do míst styku výstupků s druhým svařovacím plechem. Zvýšená proudová hustota zajistí ostře ohraničený lokální ohřev, a v čase odpovídající zhruba zániku přechodových odporů, dojde ke zborcení zahřátého výstupku a plechy na sebe dosednou. Výstupky se nesmí deformovat dříve, než dojde k jeho natavení. V dalším průběhu svařovacího procesu roste tavná čochka a část nataveného plastického materiálu se vytlačí ve formě výronku, což by měl být průvodní jev dobře provedeného sváru.



Obr. 4.7. Příklady svařenců

Výstupkové svařování se používá pro plechy tloušťek od 0,4 mm do 6 mm, vyjimečně i více. Základní svařovací parametry jsou u výstupkového svařování stejné veličiny jako u svařování bodového. Rovněž lze používat tvrdý a měkký svařovací režim. Při volbě parametrů nezávisí ani tolik na svařovacích tloušťkách, ale na půdorysu svárové plochy. [21] str. 37

Výstupkové svařování se používá převážně pro svařování plátovaných spojů, kde v případě prolisovaných výstupků svár připomíná vícebodový spoj. Dále se pak používá pro tupé spoje, vznikající pomocí masivních výstupků, nebo pro křížové spoje, vznikající překřížením drátů, tyčí a trubek.



Obr. 4.8. Svařovací lis

4.4 Svařovací stroje

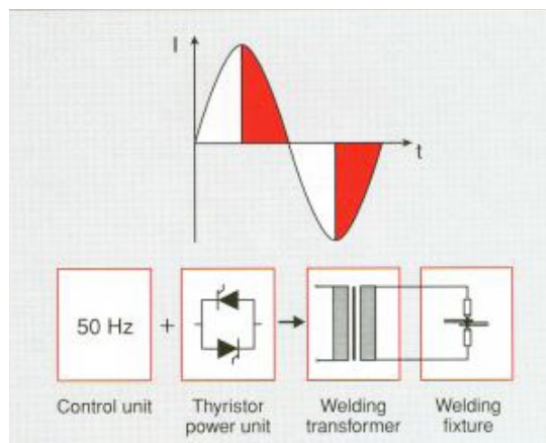
Odporové svařovací stroje mohou být principiálně značně rozdílné, neboť ke svařování můžeme použít proud síťového kmitočtu, proud sníženého (zvýšeného) kmitočtu, stejnosměrný pulz, usměrněný proud, akumulovanou energii, apod. Kromě rozdělení odporových svařovacích strojů podle svařovacího proudu a rozdělení podle typu sváru se odporové svařovací stroje mohou dále dělit podle mnoha různých hledisek, např.:

- podle specializace: univerzální, speciální
- podle způsobu zatížení sítě: jednofázové, třífázové
- podle konstrukce: stacionární, přenosné, pojízdné, závěsné, bodové a vícebodové, s vestavěným nebo odděleným transformátorem, atd ...
- podle stupně automatizace: mechanické, poloautomatické, automatické
- podle druhu řízení: reléové, kontaktní, elektronické
- podle druhu pohonu: ruční, servomotorem, pneumaticky, hydraulicky

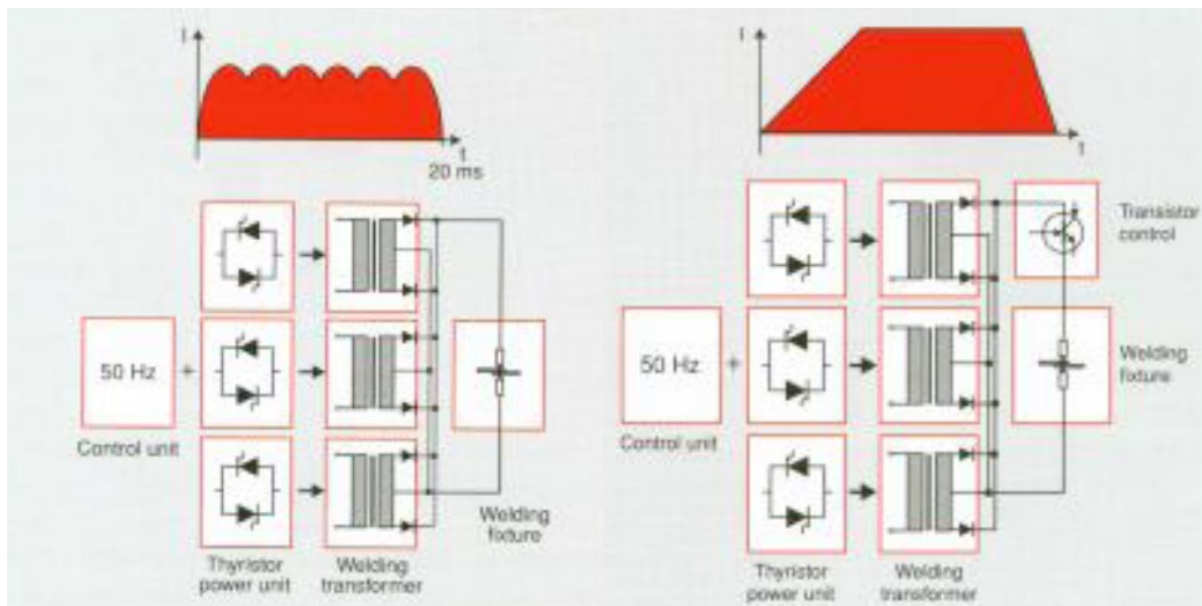
Nejčastěji používaným zdrojem proudu u odporových svařovacích zdrojů je jednofázový transformátor. Tyto zdroje mají nastavení svařovacího času ve vazbě na trvání periody a velikost primárního proudu je regulována fázovým řízením obvykle pomocí tyristorového modulu. Uvedené stroje jsou konstrukčně jednoduché, ale mají stále velmi široké uplatnění. Nevýhodou je nesymetrické zatížení sítě.

S třífázovým transformátorem s usměrněním proudu nebo bez usměrnění mají obecně rovnoměrné zatížení sítě, sníženou velikost potřebného výkonu a lepší účinnost. Zdroj s třífázovým transformátorem a s usměrněním proudu na sekundární straně transformátoru má rovnoměrnější přívod energie do místa tvorby sváru, snižuje se tak potřebný svařovací čas i svařovací proud. Z toho plyne úspora energie a rovnoměrnější zatížení elektrické sítě. Svařovací proud se spíná a reguluje na primární straně. Uplatňuje se především pro svařování neželezných kovů a materiálů s vyšší elektrickou vodivostí.

Svařovací zdroj s třífázovým transformátorem a usměrněním proudu straně a se spínáním a tranzistorovým řízením svařovacího proudu na sekundární straně má délku svařovacího pulzu od 1 ms do 1500ms. Lze tedy zajistit velmi kvalitní řízení svařovacího procesu. Vhodné jsou pro bodové, výstupkové i švové svařování. Mají minimální ztráty. [20] str. 15



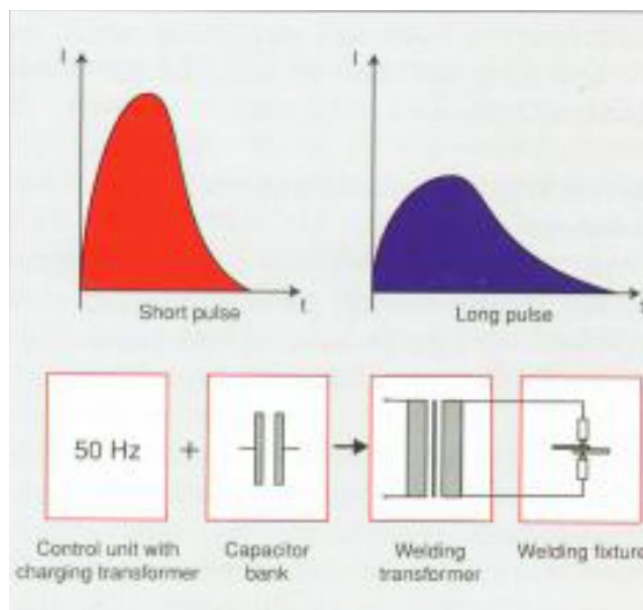
Obr. 4.9. Schéma zdroje s 1f trafem



Obr. 4.10. Schéma zdroje s 3f trafem s usměrněním proudu na sekundární straně a řízením proudu na straně primární

Obr. 4.11. Schéma zdroje s 3f trafem s usměrněním proudu a tranzistorovým řízením na sekundární straně

Další skupinou používaných zdrojů pro odporové svařování jsou kondenzátorové svařovací zdroje. Kondenzátory se nabíjí stabilizovaným napětím, které zaručuje přesné dávkování energie a svárový spoj se vytváří extrémně vysokým svařovacím proudem vybitím baterie kondenzátoru přes vybíjecí transformátor. Svařovací časy jsou velmi krátké (do 10 ms) a do místa sváru je přivedeno pouze nezbytně nutné množství energie.



Obr. 4.12. Kondenzátorový zdroj pro impulzní svařování

Poslední skupinou používaných zdrojů pro odporové svařování jsou moderní typy nazývané středofrekvenční (vysokofrekvenční) invertorové svařovací zdroje, které byly použity i v aplikaci, o níž je tato práce. Tyto zdroje poskytují svařovací proud s možností operačních zásahů v rozsahu ms. Řídicí jednotky umí pracovat s frekvencí 1 až 25 kHz a zdroje poskytují proud cca 150 kA. Výhody těchto zdrojů jsou zjevné. Tradiční odporové svařovací stroje se vyznačují tím, že se jako jednofázová zařízení připojují na sdružené fázové napětí 400 V, takže zatěžují jen dvě napájecí sítě. Elektronické řízení posouváním úhlu spínání výkonových tyristorů zhoršuje $\cos(\varphi)$, ať je svařovací proud zadáván v procentech primárního proudu nebo přímo v kiloampérech sekundárního proudu. Při velkém snížení výkonu proti maximálnímu výkonu stroje jsou zbylé malé impulsy ještě prokládány přestávkami. Z tohoto důvodu se na velkých strojích obtížně svařují drobné díly ze slabých plechů. Při střídavém proudu je kromě elektronického řízení svařovací výkon také ovlivněn impedancí sekundárního obvodu. Při zvětšení vyložení nebo rozevření ramen se výkon stroje sníží. Střídavý proud také není vhodný pro svařování hliníku a jeho slitin. [20] str. 15

Pro svařování hliníku se vyráběly výše popsané odporové trojfázové svářečky s usměrněním sekundárního proudu. Princip tohoto svařování spočívá v tom, že zařízení je vybaveno třemi jednofázovými transformátory připojenými souměrně na tři fázové vodiče sítě. Každý transformátor má na primárním vinutí dvojici spínacích tyristorů. Na sekundárním vinutí se pak nachází blok diod pro usměrnění proudu k napájení svařovacího obvodu. Tyto stroje se vyznačují velkou hmotností a délkou skříňové kostry, ve které jsou za sebou umístěny tři transformátory se spínacími obvody. Stroje této

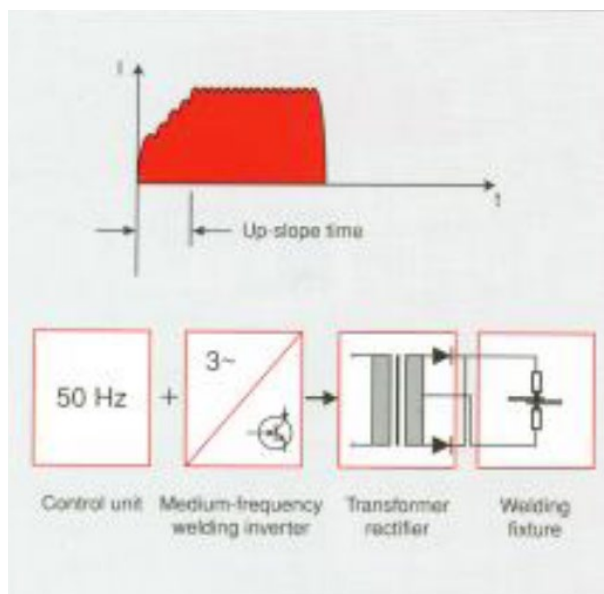
koncepce již mají výhodu svařování stejnosměrným proudem, ale v průběhu každé půlperrody zůstávají tři vrcholy zvlněného stejnosměrného průběhu proudu.

Výhody střední frekvence pro snižování hmotnosti elektromagnetických obvodů se již dříve využívaly zejména v letecké technice, kde se používal kmitočet 400 Hz. Vyšší kmitočty se využívají i pro indukční ohřevy tyčí a válcových průřezů pro zpracování v kovací lisech. Podstatné zmenšení středofrekvenčních měničů přineslo svoje výhody i ve svařovací technice. Středofrekvenční invertory společně se středofrekvenčními transformátory s usměrňovacími diodami jsou v současné době vrcholem svařovací techniky při odporovém svařování stejnosměrným proudem. Svařovací stroje mají výhodu stejnosměrného svařování bez zvlnění svařovacího proudu, rovnoměrného odběru ze sítě a současně mají podstatně nižší hmotnost, protože svařovací transformátor je podstatně menší. Novou součástí v primárním obvodu transformátoru je středofrekvenční inverter.

Základní princip invertoru je usměrnění trojfázového napájecího napětí trojfázovým usměrňovacím můstkem a pomocí speciálního tranzistorového modulu vytvoření jednofázového výstupního napětí 500 V o kmitočtu 1000 Hz. K tomuto napětí se potom připojí středofrekvenční transformátor s výstupním napětím 8 až 15 V se sadou diod pro jeho usměrnění. Výstupní vinutí transformátoru má střední vývod, takže pro usměrnění stačí pouze dvě diody nebo dvě sady diod podle velikosti výstupního proudu pro napájení svařovacího obvodu.

I když odpor sekundárního obvodu je

čistě wattový bez přídavných impedančních ztrát, musí být části sekundárního obvodu dobře dimenzovány a staženy, protože na vlastní průchod proudu svařovaným materiálem má odpor sekundárního obvodu přímý vliv. Invertor, svařovací transformátor a diody jsou chlazeny protékající vodou. Svařovací elektrody a používané přípravky mají samostatný chladicí obvod.



Obr. 4.13. Středofrekvenční svařovací inverter

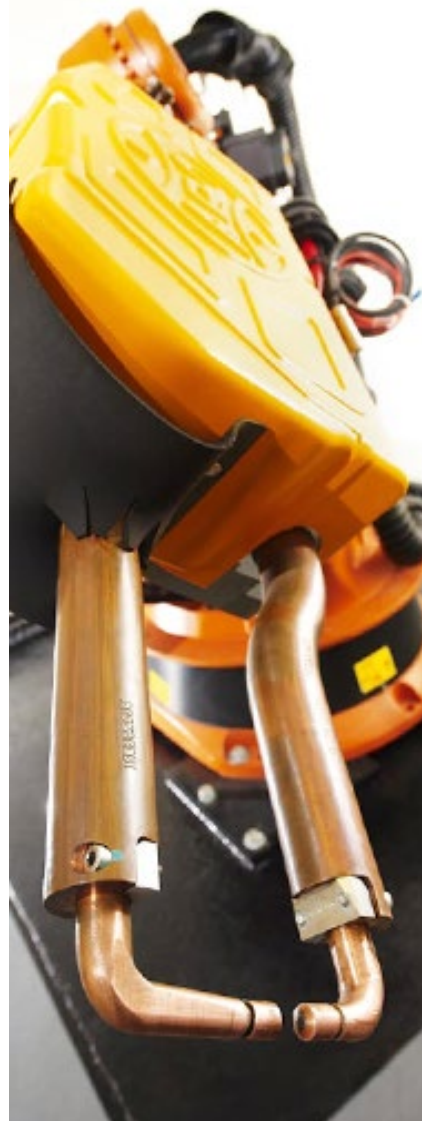
Pro shrnutí uvádím největší výhody středofrekvenčního svařování oproti tradičnímu odporovému svařování s kmitočtem 50 Hz. Jeho výhodné vlastnosti byly primárním rozhodujícím kritériem pro volbu v této aplikaci.

Svařovací impuls je tvarován v milisekundách, takže tvoří obdélníkový nebo lichoběžníkový impuls stejnosměrného proudu bez zvlnění. Stroj svařuje jedním nebo několika impulsy s přesnou dávkou energie bez ohledu na to, zda svařuje na začátku nebo na konci výkonového rozsahu.

Další výhodou je souměrné rozdělení odběru proudu na všechny fáze. Při zvlášť náročných úkolech je možno dokonce používat řízení IQR. Jedná se o řízení doby sváru v závislosti na změně odporu svařovaného materiálu v průběhu svařování. Dochází také k velké úspoře nákladů na přírodní jistící prvky a vodiče. Další náklady jsou šetřeny vyšší efektivností průchodu svařovacího proudu. Při optimálním svařování se snižuje rozstřík a prodlužuje se životnost elektrod a svařovacích čepiček. Všechny tyto úspory nákladů a zkrácení zatěžovacích dob mají příznivý účinek na produktivitu svařování a na všeobecně vyšší jakost svárů, včetně svařování kovů s obtížnou svařitelností jako jsou například hliník a jeho slitiny nebo ocelové plechy s povlaky. Zvláště vhodné je středofrekvenční svařování pro svařování kombinací materiálů s různou tepelnou vodivostí. Skupiny středofrekvenčních svářeček mohou být centrálně řízeny a vzájemně blokovány proti současnému odběru proudu ze sítě.

4.5 Svařovací kleště a inverter ARO

Pro naši aplikaci byly zvoleny komponenty pro svařování od francouzské firmy ARO, která je jednou z předních evropských společností v odvětví odporového svařování a produkty této společnosti lze najít na mnoha svařovacích linkách v automobilovém průmyslu po celém světě. V našem případě byly použity kleště typu C, středofrekvenční svařovací inverter a software Aronet pro nastavení svařovacích parametrů a jejich zpětnou kontrolu.



Obr. 4.14. Svařovací kleště



Svařovací kleště pro odporové svařování můžeme rozdělovat podle různých faktorů. Dle různých konkrétních parametrů, jako jsou výkon, protékající proud, tlak elektrod na povrch svařovaného dílu, atd.

Hodlám se zde ale zaměřit pouze na jejich použité ovládání a jasně definovat, proč je výhodnější používat námi zvolený typ pohonu před doposud více rozšířeným typem. Kleště lze dle ovládání pohonu rozdělit na:

a) pneumatické

Pneumatické kleště mají ve většině případů pouze omezený rozsah pohybu elektrod a osobně jsem se setkal pouze s třípolohovým systémem. Tedy plné otevření kleští, zavření kleští a jakási mezipoloha, kde jsou kleště otevřeny na tzv. předzdvih, kde je mezi elektrodami malá mezera (cca 2 centimetry). Každá tato poloha je kontrolována senzorem. Výhodami pneumatických kleští jsou jejich cena, hmotnost a jednoduchost. Nevýhodou je nemožnost nastavení otevření kleští dle aktuální potřeby.

b) hydraulické

Hydraulické kleště se používají hlavně u stacionárních svářeček, nikoliv ve spojení s robotem. Jejich největší výhodou je velký svařovací tlak elektrod, který nelze pneumatickými kleštěmi dosáhnout (z důvodu stlačitelnosti vzduchu). Oproti pneumatickým nebo servokleštím nejsou zrovna nejrychlejší a samozřejmě je možnost znečištění pracovního prostředí díky případným netěsnostem a možnému úniku hydraulické kapaliny.

c) elektronické

Elektronické svařovací kleště jsou ovládány servopohonem stejným způsobem jako jsou ovládány osy robota. Pohon kleští je vlastně další přídatná osa robota a stejně tak je možno ji ovládat z ovládacího panelu robota přímo jako součást osového souřadného systému, kde je umožněno pohybovat individuálně s každou jednotlivou osou robota zvlášť. Mezi největší výhody patří velmi jemné polohování otevření čelistí kleští. Nedochozí tedy při zavírání kleští k rázům jako u pneumatických kleští, které by pro naši aplikaci byly naprosto nevhodné. Dalšími výhodami jsou pak přesně definovaný svařovací tlak elektrod a kontrola tloušťky materiálu při zavření kleští, což je pro naši aplikaci svařování drátů opět nezbytné.

Počáteční cena servokleští je až čtyřikrát dražší varianta pro robotické svařování než jeho pneumatický protějšek. Avšak při volbě servokleští se rozdíl zmenšuje jejich provozními náklady, kde moderní servopohony jsou prakticky bezúdržbové. Dle výrobce lze tento cenový rozdíl kompenzovat během méně než tří let. Přehled dalších výhod je zpracován v následující tabulce.

Vlastnosti servopohonů a pneumatických pohonů při odporovém svařování.

Ovládání	Servopohon	Pneumatika
Životnost pohonu	Velmi dobrá až výborná. Záleží na typu svařovacího pohonu a délce pojezdu. Více než 6 miliónů svárů s kuličkovými ložisky a více než 12 miliónů s ložisky válečkovými.	Přijatelné, záleží na údržbě, dostatečném mazání a filtraci vzduchu. Méně než 3 milióny svárů.
Požadavky na údržbu	Svařovací pohon je bezúdržbový.	Časté. Možná výměna válce, nebo jeho přestavba.
Ovládání tlaku kleští	Snadné dosažení. Jeden z hlavních důvodů nákupu uvedený koncovými uživateli. Pro dosažení rychlé změny polohy lze užívat maximální rychlost servopohonu a při doteku s materiálem rapidní zpomalení. Velmi dobrá redukce tlaku na straně dílu a měděných čepiček.	Obtížně udržitelný opakovaný výkon. Kontakt s materiálem proveden v plné rychlosti, bez zpomalení v koncové poloze, je zdrojem velkých rázů do materiálů a svařovacích kleští. Metody proporcionálního řízení a kontroly odpružení tento stav nevylepší tak, aby se přibližoval servopohonům.
Náklady na použití	Zvýšená energetická účinnost (asi 80%). Náklady na použití oproti pneumatickým pohonům jsou výrazně nižší.	Drahé. Vysoké náklady na údržbu systémů s rozvodem tlakového vzduchu. Účinnost přenosové soustavy systému se pohybuje okolo 20 - 35 %.
Náklady na pořízení kleští	Dražší svařovací pohon. Někteří výrobci uvádí návratnost pohonu za méně než jeden rok.	Levné pořizovací náklady. Na konci jejich životnosti však mnohem dražší než servokleště. Větší opotřebení a větší množství komponentů.
Životnost svařovacích čepiček	V závislosti na jejich použití a tvaru se zvýší životnost čepiček až o 35 %.	Nutná častá výměna. Svařovací čepičky se deformují silou při zavírání kleští.
Dopad na životní prostředí	Minimální ze všech aspektů, jako jsou hluk, znečištění, poměr cena / výkon / účinnost.	Hluk a koncentrované nečistoty ve vzduchu.

Tab. 4.2. Porovnání servopohonů a pneumatických pohonů



Obr. 4.15. Kleště typu C



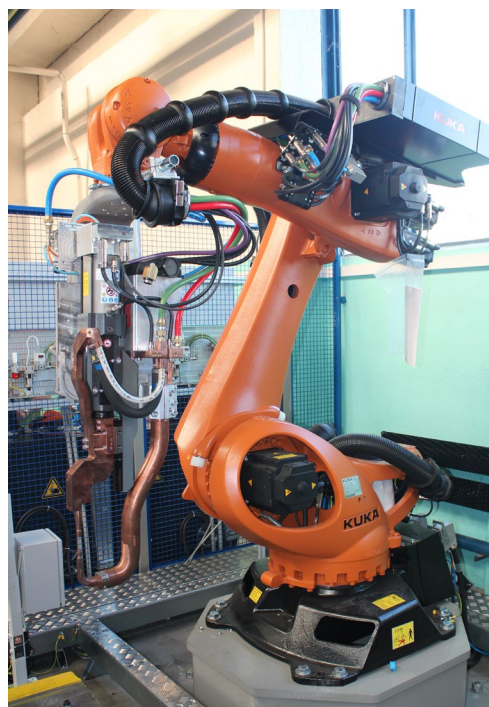
Obr. 4.16. Kleště typu X



Obr. 4.17. Kleště typu Z

Svařovací kleště jsou obvykle navrženy tak, aby co nejlépe vyhovovaly požadavkům zákazníka a jeho konkrétní aplikaci. Většina základních typů kleští je k dispozici ve dvou nejvíce používaných provedeních v nejrůznějších modifikacích délky elektrod, svařovacích čepiček, tvaru kleští a nosného rámu. Nápomocná nám jsou tři písmena, která jsou při troše fantazie v kleštích patrná. Jsou to kleště typu X, C a Z. Nejvíce používaný typ kleští jsou kleště typu C, kde pneumatický válec nebo servopohon (v našem případě) je kolmo připojen přímo na pohyblivou elektrodu.

U druhého nejpoužívanějšího typu, obecně známého jako kleště typu X (nebo například nůžky), je ovládací válec vzdálen od pohybující se elektrody, přičemž síla na elektrodu působí prostřednictvím ramene páky. Kleště typu Z jsou pak principiálně odvozeny od typu X, představují však obvykle velmi rozměrné zařízení s možností otevřít kleště do mnohem větší šířky než u typu X. Kleště typu C jsou obecně nejlevnější. Tyto kleště byly zvoleny i pro naši aplikaci, kde většina svárů byla prováděna v kolmém směru na základnu robota. Pro tento směr jsou tyto kleště ideální, protože i v prostoru pro svařování zabírají nejméně místa a kleště většinu času směřují horizontálně nahoru. Lze tedy pohodlně svařovat v přípravku s oběma kleštěmi najednou.

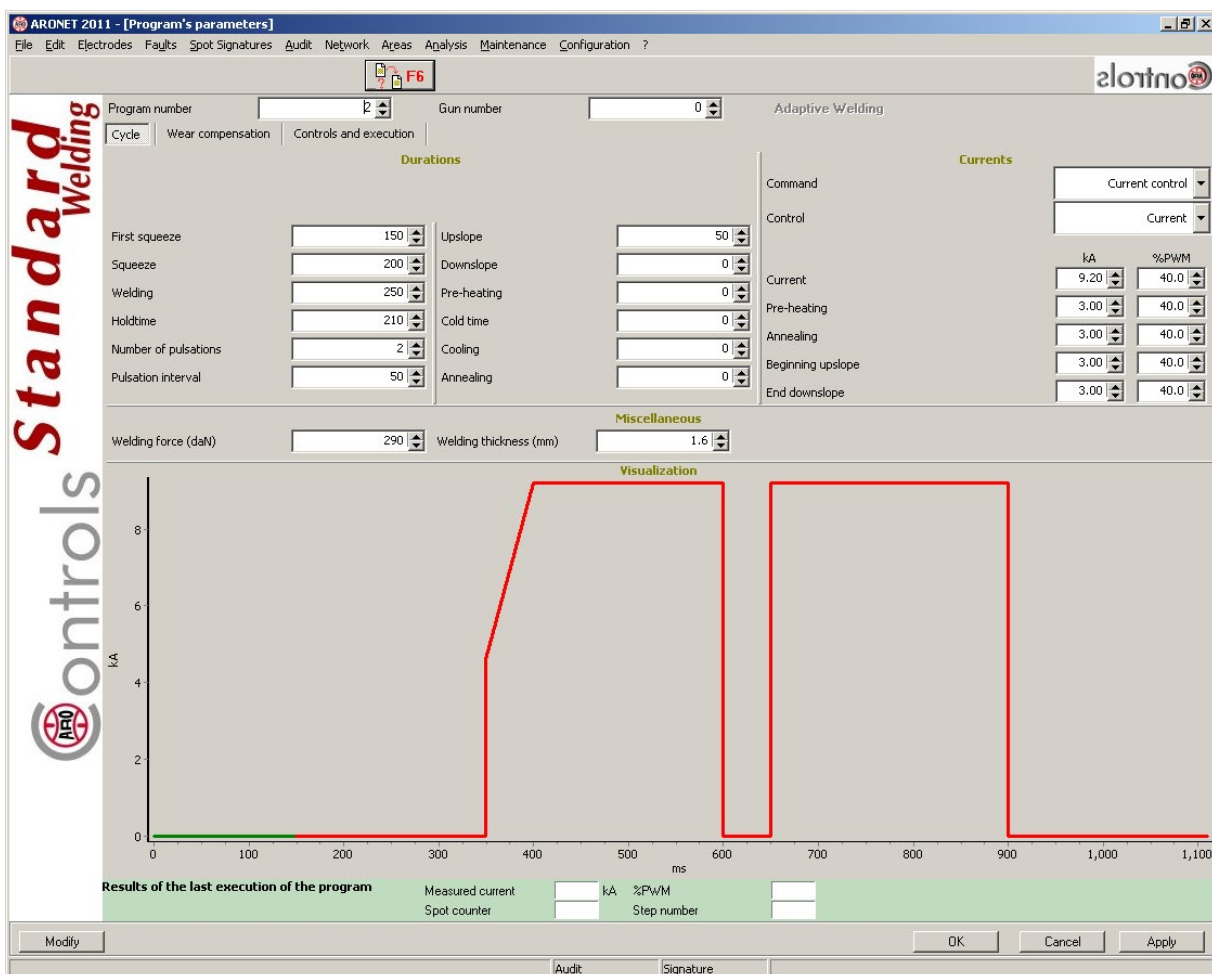


Obr. 4.18. Robot s kleštěmi typu C

4.6 Optimalizace svárových bodů

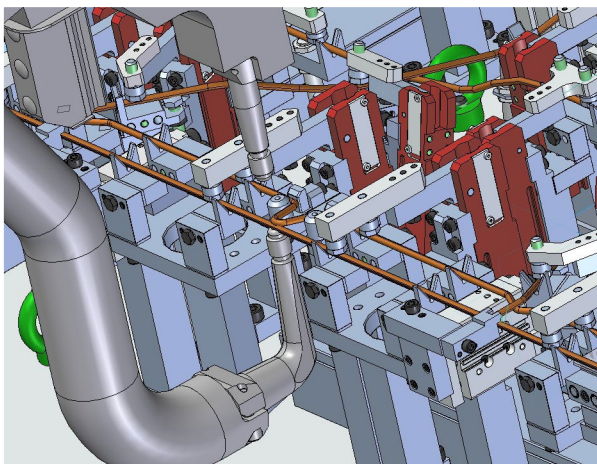
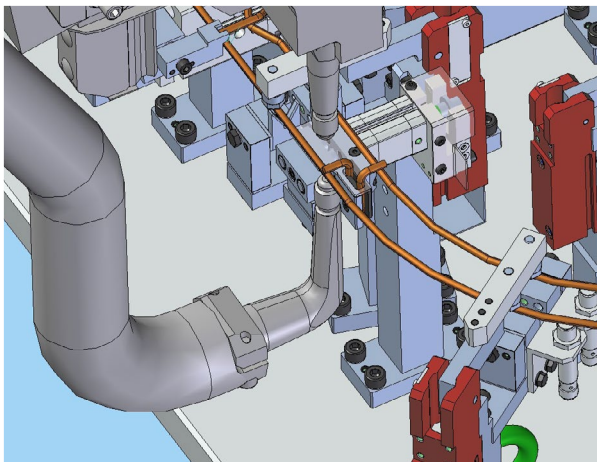
Jelikož zákazník vyžadoval velice komplexní sledování celého svařovacího procesu, byl k svařovacímu pracovišti zakoupen software Aronet 2011 WCC, taktéž od společnosti ARO. Tento software nám umožnil přes síť Ethernet propojit obě připravovaná pracoviště (každé po dvou invertorech) do jednoho stolního PC. Po připojení a zprovoznění sítě jsme dostali do rukou mocný nástroj pro kontrolu svařovacích parametrů, jejich úpravu, měření, správu a zálohování.

Největší přínos programu spočívá v podrobném nastavení svařovacích parametrů jednotlivých bodů (obr. 4.18.). Můžeme zde upravovat mnoho položek jako například přítlak, počet pulzů (až 10), doby předehřátí, chlazení, žíhání, svařovací sílu, proudy, atd. Nami navržená charakteristika je pak zobrazena v grafu, kde na ose x je zobrazen časový průběh v ms a na ose y proud v kA. V softwaru se pak nacházejí další menu, například počítadla svárů pro vyhodnocení opotřebení svařovacích čepiček, diagnostiky poruch, menu údržby, správa jednotlivých bodů, vizualizaci a nastavení sítě, atd. Tyto další, pro naše potřeby nevýznamné, položky zde nebudu rozebírat.

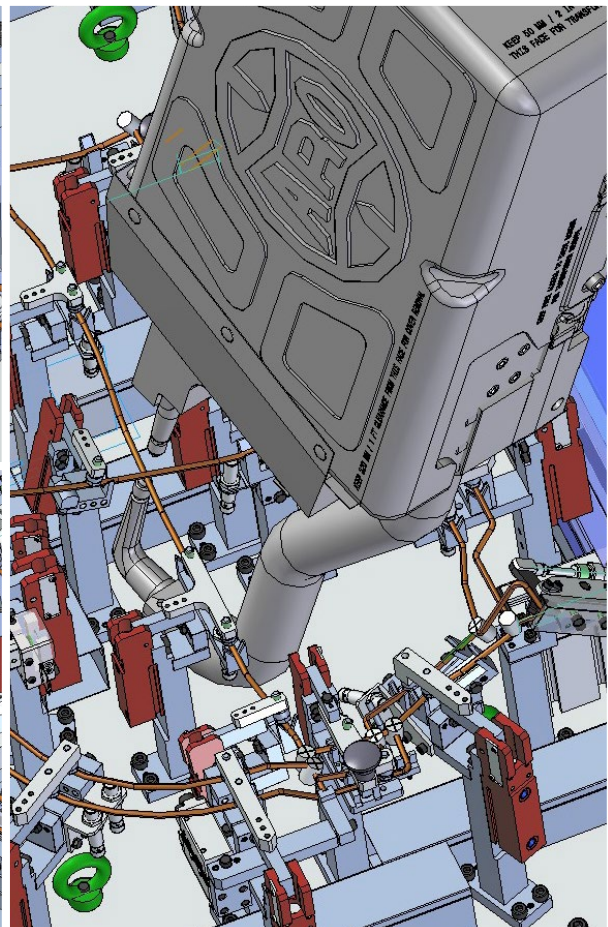


Obr. 4.19. Prostředí softwaru Aronet - parametrizace svařovacích bodů

Při bližším pohledu na svařenec zjistíme, že je symetrický a většina svařovacích bodů si je velmi podobná. V podstatě rozlišujeme z 35 svárů pouze 3 typy. Jedná se o křížení dvou drátů, dráty ve tvaru T a typ, kde doteková ploška sváru je větší než kontaktní plocha svařovacích čepiček. V podstatě stačilo tyto sváry odladit a parametry nakopírovat pod jim podobné. Naneštěstí to zní jednodušeji, než tomu skutečně je. Každý svařovací bod má své vlastní číslo pro jemné doladění parametrů.



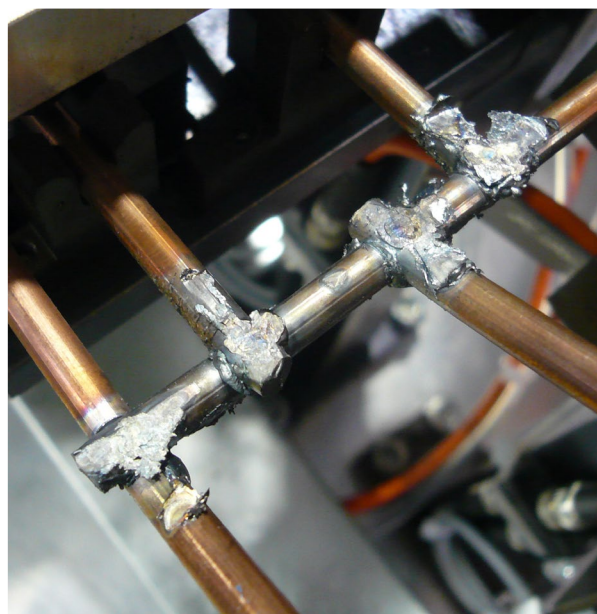
Obr. 4.20. (nahore) Svár typu T
Obr. 4.22. (dole) Velkoplošný svár



Obr. 4.21. Křížení drátů

Všechny typy svárů mají svoje vlastní specifika a při svařování se jinak chovají. Svár, kde dochází k jednoduchému překřížení (obr. 4.21.), má rovnoměrný rozvod tepla a nastavení parametrů není složité. Složitější je, pokud střížený drát končí v blízkosti sváru (obr. 4.20.). Velký proud tento konec často upálí, protože šíření tepla je zde na jedné straně omezeno. Zde je lepší volit parametry s velkým proudem za krátký časový úsek. Okolí sváru tak nemá možnost se přehřát. Opačný problém nastává u sváru, kde je doteková plocha větší než povrch měděných čepiček. Zde je nutno nastavit parametry tak, aby se materiál prohřál pomalu a natavil po celé délce.

Hlavní kritéria stanovil zákazník ve svých požadavcích na kvalitu svařovaného sedáku, kde pevnost sváru musí být nad 2,4 kN a průměr čochy (kontaktní plochy) musí být větší než 3 mm. Tyto parametry jsou pak vyhodnocovány na trhacím přístroji. Svařenec dále prochází vizuální kontrolou a nesmí být rozstřík materiálu po svařenci. Následují makro zkoušky, kde je svár zkoumán v průřezu a musí být bez viditelných trhlin. Bohužel v oblasti metalurgie nejsem dostatečně znalý a nebudu zde tyto záležitosti podrobněji rozvádět.

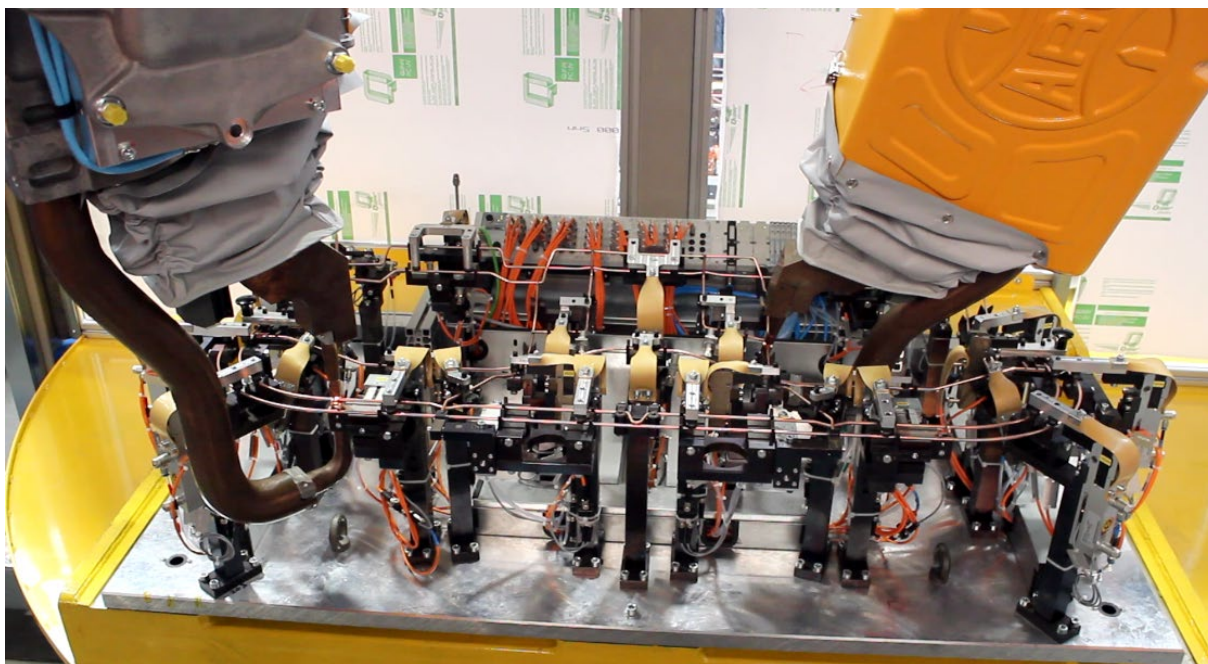


Obr. 4.23. Nevhodně zvolené parametry Obr. 4.24. Nevhodně zvolená posloupnost

Na obr 4.23. je vidět typický příklad špatně nastavených parametrů svařovacího bodu. Elektrodami procházel příliš velký proud, patrně i nepřiměřeně dlouho, ale výrazná deformace povrchu drátu byla zapříčiněna špatně zvolenou silou v kleštích, kde kleště příliš tlačily do materiálu, v době kdy jím protékal proud a materiál měknul. Při doteku elektrod v místě sváru je také nutné aretovat kleště pomocí vyvažovacího zařízení a teprve poté svařit. V tomto případě mohla být problémem i aretace kleští. Další evidentní problém zde je, že drát nemá dostatečný přesah. Mohlo se jednat o špatně střižený drát, nebo s větší pravděpodobností, vzhledem k počátečnímu uvádění do provozu, šlo o nedostatečně seřízený přípravek. Uchycení, podpěry a upínky jsou v přípravku polohovatelné pomocí tenkých plíšků a podložek.

Na obr. 4.24. jsou čtyři sváry se stejnými parametry. Z důvodu praktické polohy kleští a snížení taktu pracoviště zde byly sváry postupně svařovány za sebou. Na obrázku je zcela evidentní ovlivňování ostatních svárů tím předcházejícím. Tepelná vodivost materiálu pak zapříčinila strukturální změny povrchu drátu (modro - černý povrch) a vnoření jednotlivých drátů do sebe, jak je tomu vidět u 3. a 4. sváru, viděno

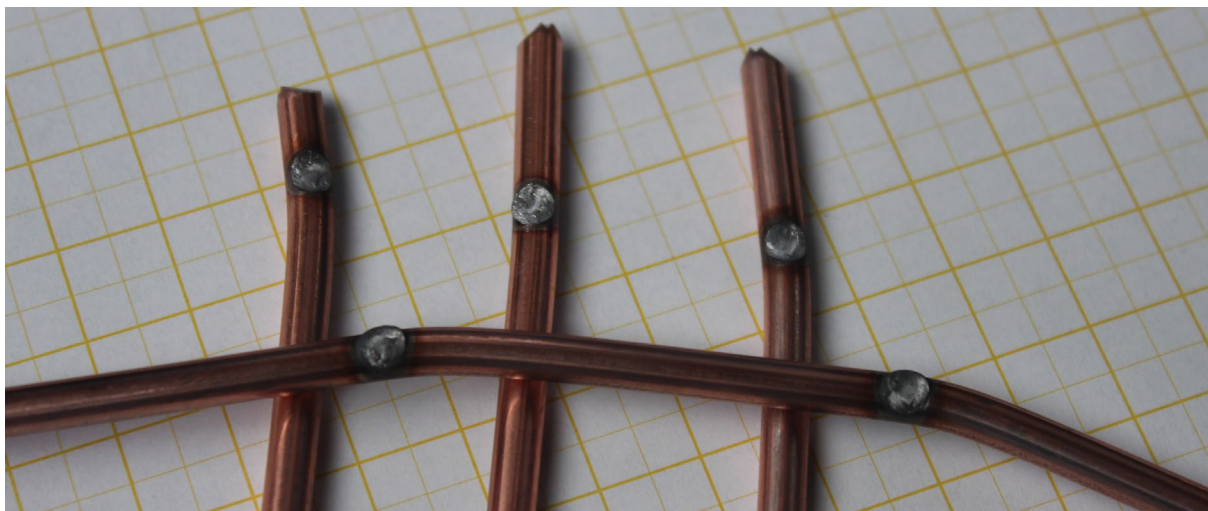
z levé strany do pravé. Svařovací parametry tedy musely být upraveny se zohledněním postupného ohřívání materiálu, protože tuto posloupnost svařovacích bodů v cyklu bylo potřeba dodržet. Díky předchozí pečlivé simulaci byla známa přibližná doba jednoho cyklu a potřeba získat několik dalších drahocenných vteřin navíc. Oproti původní simulaci se podařilo na místě upravit trajektorii pohybů tak, že jsme i s otočením stolu dosáhli výsledného taktu pracoviště 43 sekund.



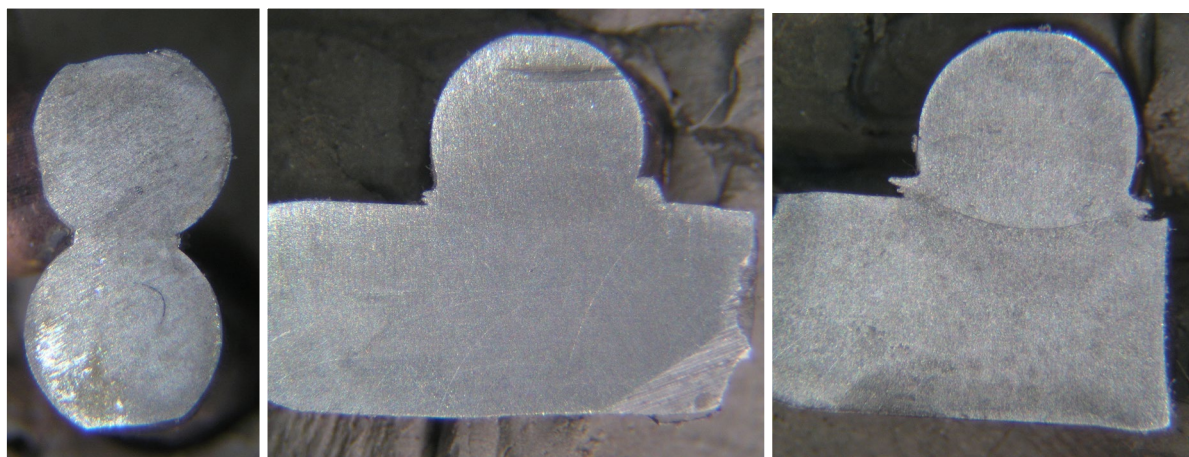
Obr. 4.25. Svařování rámu sedadla

Velký vliv na takt pracoviště spočíval v úpravě svařovacích parametrů. V charakteristice byl kladen důraz na větší proud za kratší časový úsek. Vzácná možnost, která se nám tu vyskytla, byla příprava dvou identických pracovišť na jednom místě. Umožnilo nám to zkoušet zde různé nápady jak snižovat takt pracoviště a zároveň na druhém pracovišti probíhal zkušební provoz s obsluhou. V reálných podmínkách bylo vyzorováno, že obsluha nestíhá připravit další díl na svaření. Docházelo tak k situacím, kde roboty čekaly na obsluhu a ne naopak, jak tomu bylo v původních předpokladech. Částečně to bylo způsobeno nezkušeností obsluhy, ale ani po několika denním provozu se nedařilo zakládat rychleji. Aby nebyly pohony zbytečně zatěžovány, byly roboty zpomaleny na 75% provozní rychlosti. Na druhém, testovacím pracovišti byla ponechána 100% rychlost, ale upraveny svařovací parametry bodů tak, aby se snížil proud a zvýšil čas. Výsledná konfigurace parametrů pak vykazovala vyšší stabilitu při vícenásobném testování pevnosti svárů a měla příznivý vliv i na celkovou poruchovost svařovacího cyklu. Zákazníkovi byly nabídnuty obě dvě varianty, kde si zvolil stabilnější variantu. Varianta s vyšší rychlostí byla upravena, aby obě pracoviště byla identická. Celkový takt pracoviště se poté snížil na 49 sekund.

Požadavky na pevnost byly ověřeny na trhacím stroji, kde se hodnoty pohybovaly okolo 5 kN. Tedy dvojnásobná hodnota oproti zadání. Poté byly vzorky rozřezány a podrobeny zkoušce makro struktury, zda sváry nemají trhliny, dutiny, a zda je zde kovová vazba a není spoj pouze „nalepený“, jak je to patrné na obr. 4.29.



Obr. 4.26. Spoje sváru splňující požadovanou velikost



Obr. 4.27. Vyhovující spoj

Obr. 4.28. Vyhovující spoj

Obr. 4.29. Nehovující spoj

Vzorky byly podrobeny zkouškám kvality a pevnosti opakovaně a poté svařovací parametry odsouhlaseny. Existuje celá řada dalších metod pro hodnocení kvality svárového spoje, ale ty v našem případě použity nebyly.



5. Podrobná analýza programu

5.1 Programování robota KUKA

Na začátek rozboru programu, kterým se bude zabývat tato kapitola, chci předeslat, že se nehodlám zabývat všemi funkcemi, ani všemi částmi programového kódu. Protože celý systém pracuje pod operačním systémem Windows XP, je velmi jednoduché pochopit jednotlivé části systémového prostředí. Implementace systému Windows XP nese sebou i typická úskalí tohoto operačního systému, zejména pak pomalý start systému z vypnutého stavu.

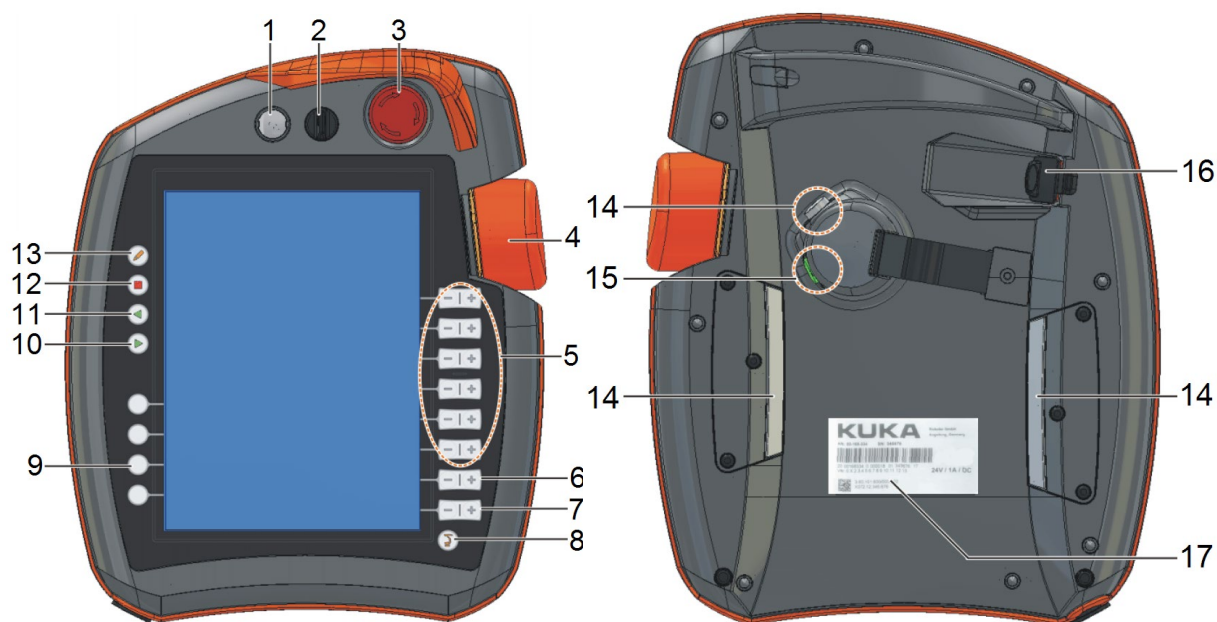
Většina jiných výrobců průmyslových robotů touto cestou nešla. Tím, že se jedná o upravenou verzi Windows XP Embedded, je ale většina nedostatků odstraněna. Systémy Windows XP Embedded jsou speciální operační systémy založené na stejných zdrojových kódech jako Windows XP Professional a mohou jednoduše využívat technologie společnosti Microsoft a spolupracovat s ostatními systémy a jejich službami. Mezi další zařízení, která využívají systémy Windows Embedded patří například pokladny v obchodech, různá specializovaná zařízení na sběr dat, bankomaty, navigace, ale lze se s nimi setkat také v automobilech, které používají nové technologie pro komunikaci s pasažéry.

Roboty německé společnosti KUKA, použité v aplikaci bodového svařování, používají pro uživatelské programování celkem jednoduchý programovací jazyk na bázi Pascalu, předchůdce dnešních moderních programovacích jazyků. Tento jazyk je samozřejmě upraven pro potřeby pohodlného programování, ale člověk znalý základů programování si jej rychle osvojí.

Do základní instalace HMI (human machine interface) prostředí, které slouží jako grafické rozhraní mezi robotem a programátorem, se dají instalovat další doplňkové funkce usnadňující práci se samotným programem a řízení dalších opcí, jako například ovládání upínek na chapadle či ovládání svářečky. Z důvodu, že pak výsledný obsah v paměti robota narůstá a konečná záloha samotného uživatelského (ne systémového) programu v našem případě zabírá okolo 8 Mb dat v podobě čistého textu, XML knihoven, inicializačních a konfiguračních souborů a mnoha dalších, často i nevyužitých a nezajímavých souborů, budeme se v analýze programu zabývat pouze programy diplomantem vytvořených a plnících nějakou určitou funkci.

5.2 Ovládací panel robota a HMI prostředí

V naší aplikaci byly použity nové typy robotů KRC4, které společnost KUKA nabízí od konce roku 2010. Kompletně byla přepracována řídicí skříň, robot, programovací panel i HMI prostředí pro ovládání a manipulaci s robotem. Ovládací panel je nyní s dotykovým LCD displejem s robustním, na výšku stavěným, pogumovaným pouzdem a jeho velkou výhodou je možnost přemostění tlačítka nouzového stopu a odpojení panelu od robota. Robot v automatickém provozu nadále pracuje, ale ovládací panel nemusí být vystaven vlivu průmyslového prostředí.



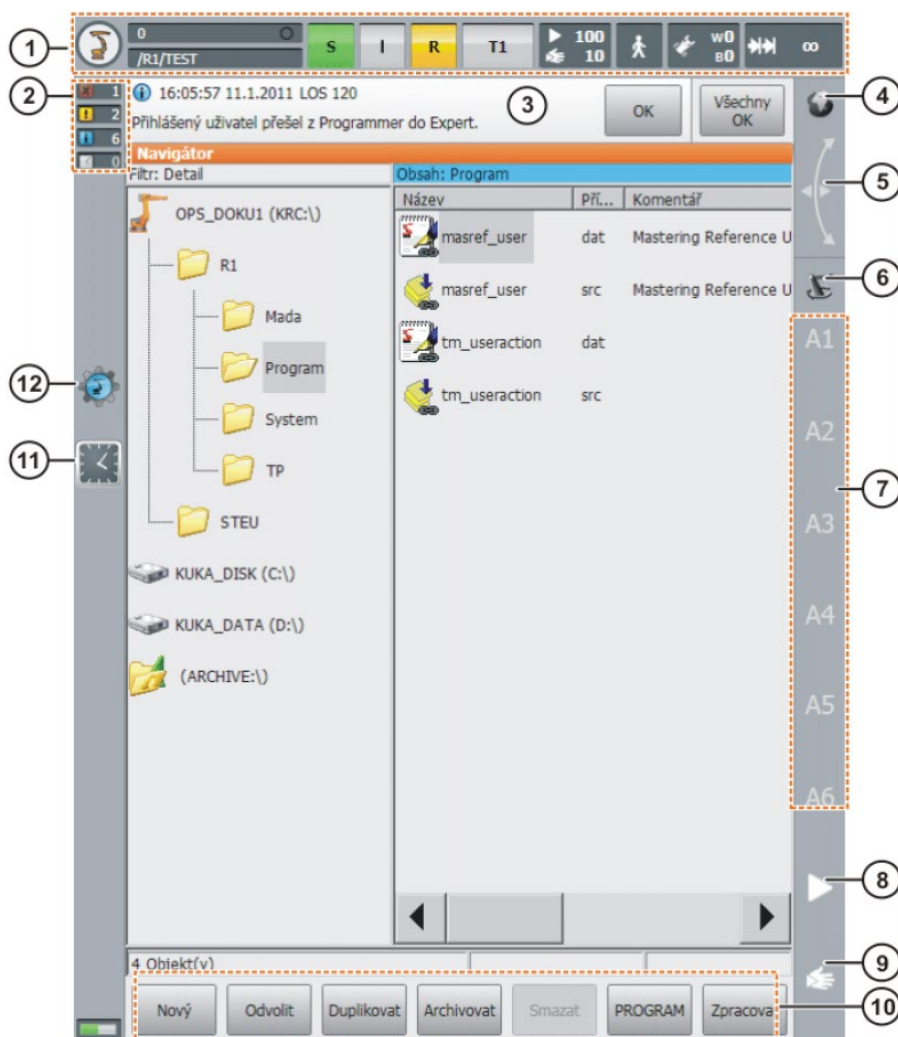
Obr. 5.1. Ovládací panel - přední strana

Obr. 5.2. Ovládací panel - zadní strana

1. Tlačítko pro odpojení panelu. Po stisku klávesy se přeruší obvod bezpečnostního stopu na 30 sekund a panel lze odpojit.
2. Čtyřpolohový přepínač pro změnu režimu robota.
3. Tlačítko nouzového stopu. Slouží k okamžitému zastavení robota v nebezpečí.
4. 3D myš pro ovládání robota v ručním režimu.
5. Klávesy pro ovládání robota v ručním režimu.
6. Klávesy pro nastavení programové rychlosti.
7. Klávesy pro nastavení rychlosti v ručním režimu.
8. Tlačítko pro vyvolání hlavního menu.
9. Technologická tlačítka použitá po instalaci dodatečných opcí.
10. Klávesa start programu, pohyb vpřed.
11. Klávesa zpět v programu.
12. Klávesa stop. Slouží k zastavení právě probíhajícího programu.

13. Tlačítko pro zobrazení klávesnice.
14. Tři klávesy pro uvolnění pohonu. Po namáčknutí jedné z kláves se uvolní brzdy na všech servopohonech a je možné pohybovat s robotem v ručním režimu.
15. Tlačítko start programu, program vpřed. Tlačítko je totožné s tím na přední straně.
16. Přípojka na USB rozhraní.
17. Typový štítek.

Jak už bylo naznačeno výše, ovládací panel nového typu robota KRC 4 doznal oproti starším typům značných změn v podobě robustní konstrukce a vyššího rozlišení dotekového LCD panelu umístěného na výšku. Také HMI prostředí bylo těmito změnám uzpůsobeno. Vychází však z původního prostředí, pouze s lehčími obměnami. V odborném projektu, který předcházela této diplomové práci, bylo toto prostředí dostatečně popsáno. Bohužel se jednalo o předcházející typ robota KRC 2. Proto toto prostředí a panel popisují v rychlosti ještě jednou.



Obr. 5.3. Uživatelské rozhraní robota KUKA SmartHMI



1. Stavová lišta. Zde jsou přehledně zobrazeny důležité provozní stavy robota. Mezi ikonkami nalezneme například stav spuštění podprogramu Submit Interpreter (dále vysvětleno) nebo stav aktuálního programu, odbrždění servopohonů robota. Dále pak aktuální rychlosti, nástroj, bázi, atd.
2. Čítač hlášení. Po kliknutí na příslušné místo se rozbalí další menu s podrobným popisem chyb. Každá chyba má pak také své číslo, dohledatelné v katalogu chyb s možným postupem na její případné odstranění a původem příčiny vzniku chyby.
3. Okno hlášení. Zobrazuje standardně poslední chybu. Nachází se zde pak i tlačítko pro potvrzení poruchy a jejich následné kvitování.
4. Zobrazení aktuálního souřadného systému pro 3D myš.
5. Zobrazení nasměrování 3D myši. Kliknutí opět vyvolá menu umožňující změnu.
6. Zobrazení aktuálního souřadného systému pro pohybové klávesy.
7. Označení pohybových kláves a jejich směr. Možno ovládat dle kartézského souřadnicového systému jako osy X,Y,Z a rotaci okolo těchto os A,B,C anebo každý servomotor samostatně jako A1 - A6. Dále pak můžeme ovládat až 6 externích os E1 - E6.
8. Nastavení ruční rychlosti.
9. Nastavení programové rychlosti.
10. Softwarová lišta. Dynamicky se mění dle právě aktuálního okna.
11. Hodiny. Systémový čas.
12. Symbol pro VisualWork. Aplikace pro konfiguraci a programování přes externě připojené PC.

5.3 Submit interpreter

Roboty KUKA mají vedle svého standardního programu vytvořeného programátorem paralelně spuštěný další program, který běží cyklicky na pozadí systému v nekonečné smyčce. Tento program se nazývá Submit Interpreter a jeho funkcí je simulovat softwarové PLC. Program Submit běží nezávisle na jakémkoliv vybraném programu robota a může se starat o řízení různých důležitých úloh. Slouží především pro řízení a monitorování vnitřních stavů a přeposílání těchto dat do PLC, reakci na stavy vnější, například stisknutí tlačítka, anebo kontrolu a řízení dalších podřízených periférií robota. Dobrým zvykem bývá nevkládat do tohoto systému pohybové instrukce, podmínky **Wait for ...**, kterými program zastavíme, anebo například časovače. Programátor by měl dbát, aby Submit interpreter neustále cykloval. S tímto podprogramem na pozadí můžeme velmi jednoduše obsloužit externí zařízení a nemusíme používat programovatelný automat PLC, což je často v jednodušších aplikacích velmi výhodné pro koncového zákazníka.



Program Submit interpreter v aplikaci bodového svařování:

```
DEF SPS ()

;FOLD DECLARATIONS
;FOLD BASISTECH DECL
;Automatik extern
DECL STATE_T STAT
DECL MODUS_T MODE
;ENDFOLD (BASISTECH DECL)
;FOLD USER DECL
; Please insert user defined declarations

;ENDFOLD (USER DECL)
;ENDFOLD (DECLARATIONS)
;FOLD INI
;FOLD AUTOEXT INIT

INTERRUPT DECL 91 WHEN $PRO_STATE1==#P_FREE DO RESET_OUT ()
INTERRUPT ON 91
$LOOP_MSG[]="
MODE=#SYNC
$H_POS=$H_POS

;Automatik extern
IF $MODE_OP==#EX THEN
  CWRITE($CMD,STAT,MODE,"RUN /R1/CELL()")
ENDIF

;ENDFOLD (AUTOEXT INIT)
;FOLD EG INIT
  EG_INI()
;ENDFOLD (EG INIT)
;FOLD USER INIT

; Please insert user defined initialization commands

;ENDFOLD (USER INIT)
;ENDFOLD (INI)

LOOP
  WAIT FOR NOT($POWER_FAIL)
  TORQUE_MONITORING()
;FOLD EG PLC
  EG_SPS()
;ENDFOLD (EG PLC)
;FOLD USER PLC

;Make your modifications here - Zde začínají programátorské instrukce

IF Si_Log_DataPrevzata THEN
  So_Log_DataPlatna = False
ENDIF

IF $T1 THEN
  VI_TRACE_STEP = 1
ENDIF

; Nastavení rychlosti
IF NOT $T1 and ($OV_PRO > VI_OV_PRO_MAX) then
  $OV_PRO = VI_OV_PRO_MAX
ENDIF
```



```
; Chladicí voda
if NOT $T1 and $PERI_RDY and $USER_SAF and NOT (So_PoziceUdrzba or So_PoziceRef) then
  So_ChlazeniZap = True
  So_ChlazeniVyp = False
else
  So_ChlazeniZap = False
  So_ChlazeniVyp = True
endif

; Freza
if So_FrezaZap then
  $Timer_stop[VI_TIMER_NO_FREZA] = False
  if (Si_FrezaBeh <> VB_Freza_Marker) then
    $Timer[VI_TIMER_NO_FREZA] = -500
    VB_Freza_Marker = Si_FrezaBeh
  endif
  VB_Freza_Bezi = NOT $Timer_Flag[VI_TIMER_NO_FREZA]
else
  $Timer_stop[VI_TIMER_NO_FREZA] = True
  VB_Freza_Bezi = False
endif

; Svarecka Aro
So_Aro_AUS = $Peri_Rdy ; Povolit svarovani
So_Aro_TH3S = True ; Potvrzeni teploty klesti OK
So_Aro_MSS = True ; Odblokovani svarecky

So_CepickyVarovani = Si_Aro_ALE ; Upozorneni na konec cepicek
;So_CepickyAlarm = Si_Aro_FVE ; Zadost o vymenu cepicek

; Autoreset svarecky
;if (Si_Aro_DNG and NOT So_Aro_DRG) then ; Svarecka not OK
; So_Aro_DRG = True ; Kvitovani poruchy svarecky
;else
; So_Aro_DRG = False ; Kvitovani poruchy svarecky
;endif

;ENDFOLD USER PLC

ENDLOOP
```

Program Submit interpreter je zde velmi jednoduchý. Z důvodu složitosti pracoviště je zde instalován programovatelný automat PLC, kde jako nadřazený systém přebírá většinu monitorovacích funkcí. V programu je množství dat vygenerováno přímo při instalaci systému. Ta řídí například bezpečnostní funkce robota a jeho reakci na poruchy a další stavy, které mohou nastat. Například při kolizi robota s pevným předmětem, kde při nadměrném navýšení proudu v servopohonu, robot automaticky odpojí silové napájení všech servopohonů, sepne brzdy a chybovým stavem zareaguje i HMI prostředí na ovládacím panelu robota.

Z předem předinstalovaného kódu stojí za zmínku nastavení cesty spuštění hlavního programu CELL.src u popisku Automatík extern. Z jediné podmínky je zřejmé, že tento program je spuštěn při nastavení režimu v externí automatice volbou přepínače na ovládacím panelu.



Pro snadnější orientaci v programovém kódu je zde umožněno používat záložky, které zpřístupní pouze tu část programu, o kterou máme zájem. Pro programátora je určena záložka USER PLC ohraničená deklarací FOLD a ENDFOLD. Zde jsou i podmínky pro kontrolu rychlosti robota a pro kontrolu chlazení vody, bez které by mohlo dojít k poškození svařovacích kleští, podmínky pro ovládání frézy na svařovacích čepiček. Dále tu najdeme nastavení režimu svařovacího transformátoru a také jeho automatické resetování při poruše. Tento automatický reset byl nakonec v programu zablokován, protože nebyl žádoucí. Robot sám resetoval poruchu a nebylo možné zjistit, o jakou poruchu se nakonec jednalo. Nyní je nutno reset provádět přes PLC rozhraní obsluhujícím personálem. V programu je vidět, že tento pozůstatek programového kódu je zachován, pouze se na začátku každého řádku podmínky nachází středník, čímž se z tohoto řádku stává komentář, a vše co je za středníkem program ignoruje.

5.4 Hlavní program

Hlavní program byl v našem případě zanechán původní, defaultně nastavený program s názvem CELL.src. Samozřejmě lze integrovat vlastní program, který lze po možné úpravě Submit interpretu i při splnění podmínek automaticky spouštět. Hlavní program by měl obsahovat kontrolu pozice robota v prostoru. Počáteční pozici, tzv. Home pozice, ze které trajektorie robotů budou začínat a opět se do ní vracet. Standardně systém robota KUKA umožňuje až 7 Home pozic. Dále pak na začátku, před spuštěním automatického režimu, by měla nastat inicializace výstupních signálů a jejich následná kontrola. Také je vhodné před započítím automatického režimu zapnout používané interrupty, podmíněné přerušení programu v závislosti na určité podmínce. Poté bude aktivace vztažena na celý hlavní program, i jeho podprogramy. Přerušení je výhodné použít k ošetření nebezpečných nebo časově neurčitých stavů.

Hlavní program CELL.src v aplikaci bodového svařování:

```
DEF CELL ( )  
  
; =====  
; KARSIT PRIBRAM - SVAROVANI RAMU SEADEL  
; =====  
  
;FOLD INIT  
DECL CHAR DMY[3]  
DMY[]="---"  
;ENDFOLD (INIT)  
;FOLD BASISTECH INI  
GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )  
INTERRUPT ON 3  
BAS (#INITMOV,0)
```



;ENDFOLD (BASISTECH INI)

CHECK HOME ; Kontrola HOME pozice

PTP HOME

init() ; Inicializace

```
;FOLD AUTOEXT INI
P00 (#INIT_EXT,#PGNO_GET,DMY[],0) ; Initialize extern mode
;ENDFOLD (AUTOEXT INI)
LOOP
```

```
    P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_GET,DMY[],0)
;FOLD TIMER START
VI_TRACE_STEP = 1
$Timer[VI_TIMER_NO_TRACE] = 0
$Timer_stop[VI_TIMER_NO_TRACE] = False
;ENDFOLD
```

SWITCH PGNO ; Select with Programnumber

```
    CASE 1
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0)
      Stul_1D () ; Pripravek 1 Strana A
      if Si_Aro_DRO then
        Freza () ; Frezovani
      endif
```

```
    CASE 2
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0)
      Stul_1E () ; Pripravek 1 Strana B
      if Si_Aro_DRO then
        Freza () ; Frezovani
      endif
```

```
    CASE 61
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0)
      ; () ; RefPozice
      KonecPrace()
```

```
    CASE 62
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0)
      Freza () ; Frezovani
      KonecPrace()
```

```
    CASE 63
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0)
      Servis () ; Udrzbarska pozice
      if Si_Aro_DRO and NOT EG_WORN[EG_EXTAX_ACTIVE] then
        Freza () ; Frezovani
      endif
```

```
    DEFAULT
      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_FAULT,DMY[],0)
    ENDSWITCH
```

```
;FOLD TIMER START
VI_TRACE_TIME[VI_TRACE_STEP] = $Timer[VI_TIMER_NO_TRACE]
VI_TRACE_TYPE[VI_TRACE_STEP] = -1
$Timer_stop[VI_TIMER_NO_TRACE] = True
;ENDFOLD
    ENDLOOP
END
```



V hlavním programu si můžeme všimnout všech základních náležitostí, které by měl program obsahovat, o nichž jsem se zmiňoval v úvodu kapitoly. Na začátku programu se nachází nastavení interruptu, tedy přerušení programu, jež odkazuje z právě probíhajícího programu ke skoku do podprogramu **IR_STOMP**. Spuštění tohoto přerušení je vyvolané signálem **\$STOPMESS**, což je systémová proměnná deklarující zastavení robota. V podprogramu je ošetřeno chování po tomto zastavení a lze zde naprogramovat i chování dalších, robotu podřízených, periferních zařízení, jako je například vypnutí sváření, pohyb lisu či dopravníku, apod.

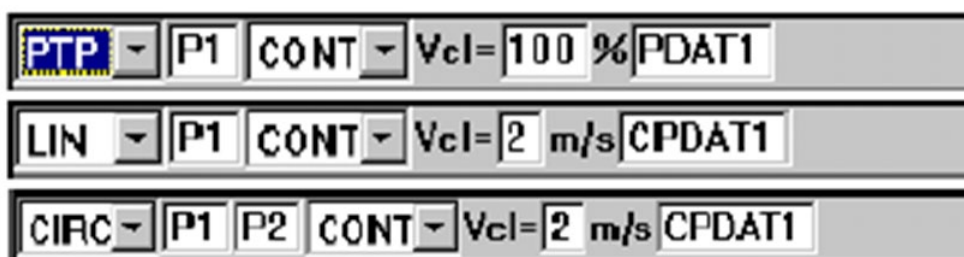
Dále v záložce programu **CHECK HOME** nalezneme nezbytnou kontrolu pozice robota v prostoru. Při nesouladu je zaznamenána porucha a obsluha musí uvést robota do této pozice v ručním režimu. K tomu slouží pohybový bod **PTP HOME**. Pohybové body budou popsány v následující kapitole.

Jednou z nejdůležitějších částí hlavního programu je pak rozdělovač, nebo-li **SWITCH**, který nám umožňuje volbu jednotlivých podprogramů na základě hodnoty proměnné **PGNO** (program number). Tato proměnná je vyslána nadřazeným zařízením a po obdržení je opět odeslána zpět jako kontrola přijmutého čísla programu. Na základě shody odeslaného a přijmutého čísla programu startuje nadřazený automat cyklus robota a čeká na ukončení sekvence, signalizované opět binárním signálem **konec_prace**. Po založení dílů a stiskem tlačítka pro odstartování se sekvence opakuje. Jednotlivé svařovací podprogramy jsou nazvány **Stul_1D** a **Stul_1E**. Při svařování může nastat stav, kdy na počítadle počtu svařovacích bodů přeteče nastavená mez, a binární signál **SI_ARO_DRO** se nastaví na kladnou hodnotu. V tomto případě se po svařování provede program **FREZA**, který opotřebované měděné čepičky svařovacích kleští ofrézuje a mechanicky očistí okraje. Další čítač v programu svářečky například sleduje počet ofrézování čepiček do jejich úplného znehodnocení a poté se spouští program **SERVIS**, kdy je potřeba čepičky vyměnit. Servisní poloha robotů jde přirozeně vyvolat i ručním způsobem přes dotykovou obrazovku.

V PLC, robotu a svářečce je integrováno množství dalších hlídacích mechanismů. Uvedme zde především kontrolu založených dílů pomocí indukčních snímačů, kontrolu polohy upínacích členů elektromagnetickými senzory, kontrolu polohy pojezdu kleští, hloubku stisku nebo počítadlo ofrézovaných cyklů. Zde se úměrně k opotřebení měděných čepiček svařovacích elektrod zvedá i výška zdvihu elektrod, tak aby byla pokaždé ve stejné pozici. Veškeré kontroly se provádí tzv. on-line, tedy program je kontrolován v průběhu celého cyklu, ne jen na začátku a na konci cyklu, jak je tomu často v jiných případech. Tak může například nastat situace, kdy při svařování zaznamená snímač průtoku nedostatečný oběh chladicí kapaliny a robot okamžitě zastaví a zobrazí chybu s odpovídajícím hlášením.

5.5 Pohyby robota

Chceme-li pohybovat robotem pomocí programu, nejčastěji používaným prostředkem jsou tzv. in-line pohybové formuláře. Tyto formuláře obsahují informace o typu zvoleného pohybu, rychlosti nebo zrychlení pohybu. Dále zde nalezneme případnou aproximaci pohybu a definici počátečního a koncového bodu (pro kruhové dráhy také středového bodu) a ostatní nastavení závislé na typu pohybu. K dispozici je též volba ze seznamu předem naměřených nástrojů a bází.

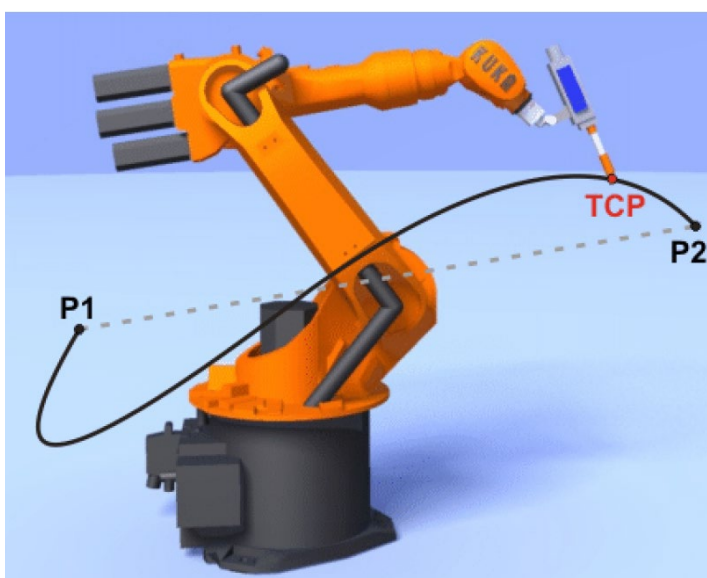


Obr. 5.4. Tři základní typy in-line formulářů

Hlavní pohybové příkazy jsou především tyto tři:

1. „Od bodu k bodu“ pohyb PTP (Point to point)

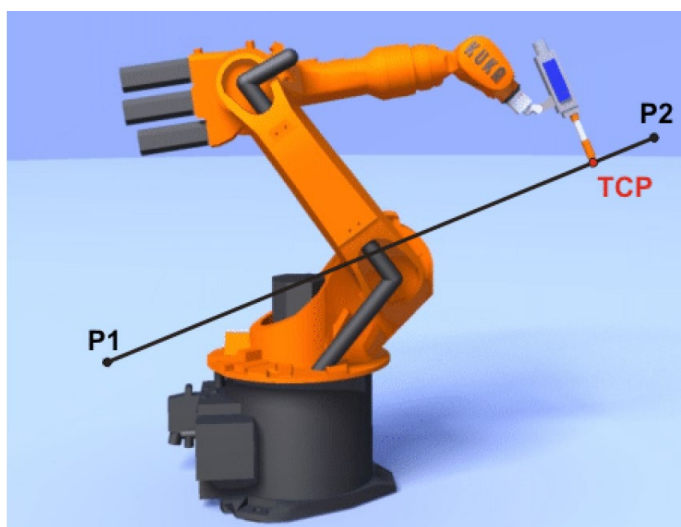
Nástroj se pohybuje od počátečního bodu ke koncovému po nejrychlejší dráze. V tomto případě neplatí, že nejrychlejší vykonaná dráha musí být i nejkratší, a obecně se tedy nejedná o přímku. Rotační pohyb jednotlivých os robota vykonávají různé zakřivení dráhy (obecně v prostoru), což je rychlejší než vykonávání přímé dráhy. Programátor definuje souřadnice koncového bodu a určí parametry mezi počátečním a koncovým pohybem. Výsledná dráha není předem známa. Důvodem jsou různé rychlosti motorů jednotlivých os a vnitřní algoritmus vypočítávání zátěžných momentů na všech servopohonech. Tento typ pohybu se používá pro rychlé přejezdy v prostoru, kde nejsou žádné překážky a nehrozí žádná případná kolize. I tak je nutno s tímto typem pohybu zacházet opatrně a při testování projíždět dráhy tvořené PTP pohyby menší rychlostí. Se zvyšováním rychlosti se mění i trajektorie pohybu. Obecně ale platí, že se jedná o nejrychlejší pohyb v prostoru.



Obr. 5.5. PTP pohyb

2. Lineární pohyb LIN

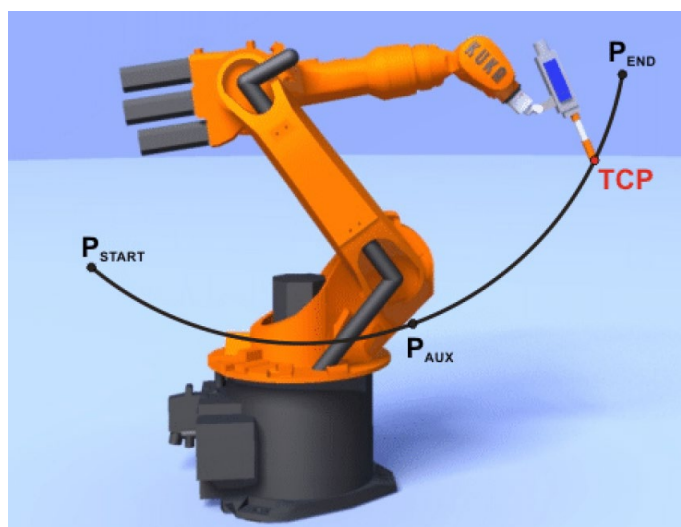
Lineárním pohybem jsou koordinovány osy tak, že se nástrojový nebo bázový referenční bod pohybuje směrem ke koncovému bodu po přímce. Lineární pohyb se používá tehdy, má-li se robot pohybovat po přesně definované dráze konstantní rychlostí (např. při obloukovém svařování nebo nanášení lepicích tmelů) anebo pokud nelze použít PTP pohyb (např. kvůli riziku kolize). Rychlost pohybu se uvádí v m/s.



Obr. 5.6. LIN pohyb

3. Kruhový pohyb CIRC

V tomto případě se pohybuje referenční bod nástroje nebo obrobku k cílovému bodu po kružnici. Trajektorie je definována počátečním, pomocným a koncovým bodem. Koncový bod pohybu slouží jako počáteční bod pohybu následujícího. CIRC pohyb se využívá, je-li třeba pohybovat robotem po kružnici v předem definované rychlosti (m/s).



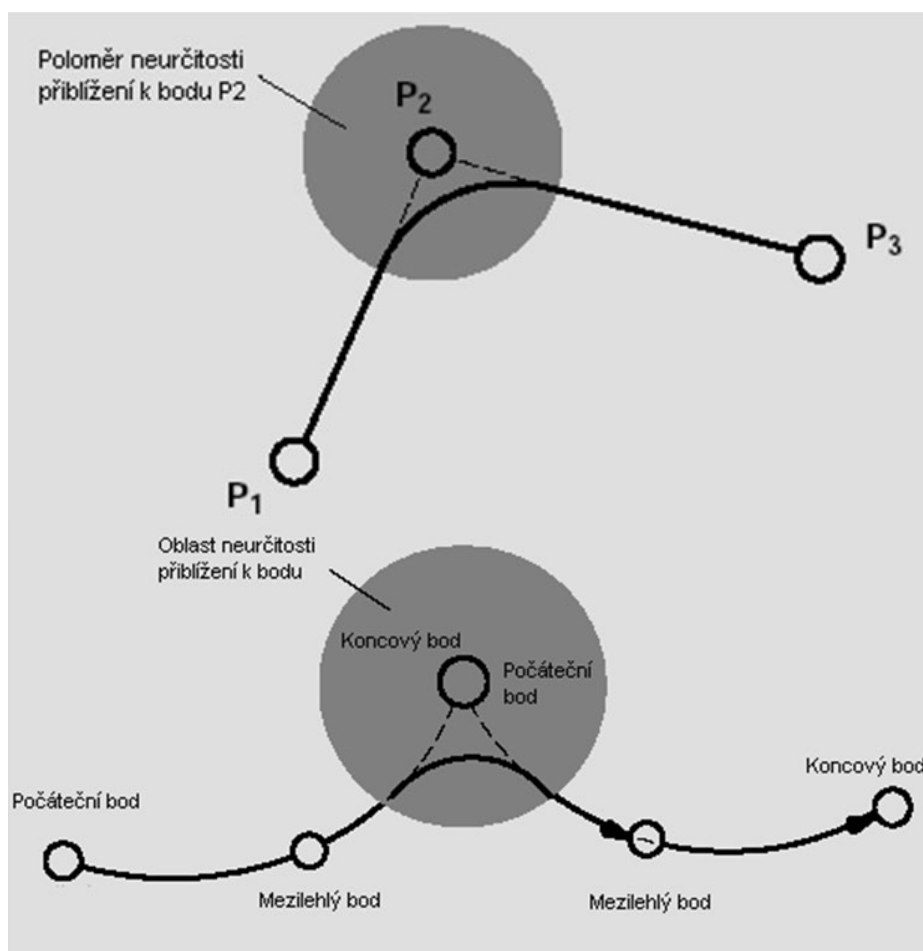
Obr. 5.7. CIRC pohyb

Počáteční, pomocný a koncový bod leží na ploše v prostoru. Aby mohl řídicí systém dodržet požadavek pohybu na ploše s co největší přesností, měly by být jednotlivé body umístěny co nejdále od sebe. Naprogramovanou trajektorií probíhá pouze referenční bod, a proto tedy může nástroj během pohybu plynule měnit svoji orientaci vůči trajektorii. Vedení orientace pro pohyby LIN a CIRC se dají nastavit v in-line formuláři jako konstantní, kde se orientace nemění a změna je ignorována. Dále pak standardní orientace, plynule se měnící v závislosti na cílovém bodu. Poslední typ orientace je ruční PTP. Zde je kladen důraz na orientaci pomocí zápěstí robota.

Aproximace

Obecně se dá říci, že používání ryze základních pohybů (point to point, lineární, kruhový) by bylo pro většinu praktických aplikací nedostatečné. Společnou vlastností pro všechny tyto pohyby je, že v koncových bodech se rychlost a zrychlení blíží nule, resp. robot v těchto bodech zastaví, a pak teprve pokračuje ve vykonávání další pohybové instrukce. Z tohoto důvodu se používají tzv. aproximace pohybů.

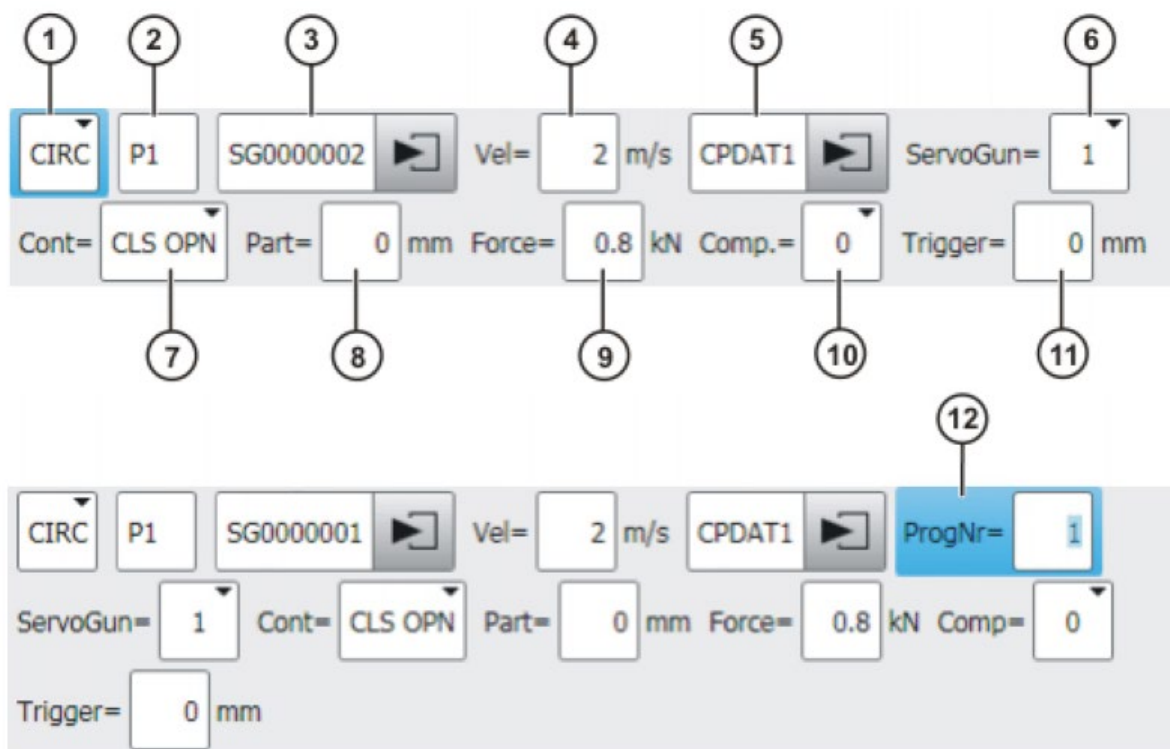
V případě použití aproximace však již referenční bod nástroje neprojíždí trajektorií přesně souřadnicemi jednotlivých bodů, ale opouští dráhu v přesně definované vzdálenosti od cílového bodu. Výslednou výhodou pak je, že dráha je vykonávána plynuleji, rychleji a servopohony robota jsou méně zatěžovány. Aproximace také souvisí se snižováním celkového pracovního cyklu, což je časový údaj, který lze považovat za jeden z hlavních parametrů při návrhu robotické buňky. V praxi to vypadá tak, že řídicí systém monitoruje tzv. oblast přiblížení okolo koncového bodu. Pokud robot vstoupí do této oblasti, začne se trajektorie stáčet směrem k dalšímu koncovému bodu. Aktivace funkce aproximace pohybů je možná v in-line formuláři pohybového bodu v záložce CONT. Po aktivaci je možné definovat poloměr aproximace.



Obr. 5.8. Aproximace PTP a CIRC pohybů

5.6 Svařovací program

Ve svařovacím programu nalezneme kromě in-line formulářů pohybových bodů i speciální formuláře, vytvořené balíčkem doplňkových funkcí. Jedná se především o balíček s názvem SpotTech, a nově pro svařování pomocí servokleští, balíček ServoGun. Tyto doplňkové funkce usnadňují práci programátora a do programu například integrují upravené in-line formuláře pohybových bodů, kde na konci trajektorie je proveden bodový svár. Dalšími možnostmi nastavení těchto formulářů jsou pak přítlačná síla, tloušťka materiálu, zpoždění při zapálení, atd. Lze zde volit mezi dvěma formuláři, kde jeden z nich umožňuje režim číslování svařovacích programů.



Obr. 5.9. In-line formuláře pro svařovací aplikace

1. Zvolený typ pohybu. Základními třemi typy jsou PTP, LIN a CIRC.
2. Název pomocného bodu. Používá se pouze pro zvolený typ pohybu CIRC.
3. Název koncového bodu. Poloha tohoto bodu určuje koncovou pozici, ve které robot bude svařovat. Pomocí názvu je každý bod deklarován a v paralelním datovém programu uložen pomocí speciálního formátu:

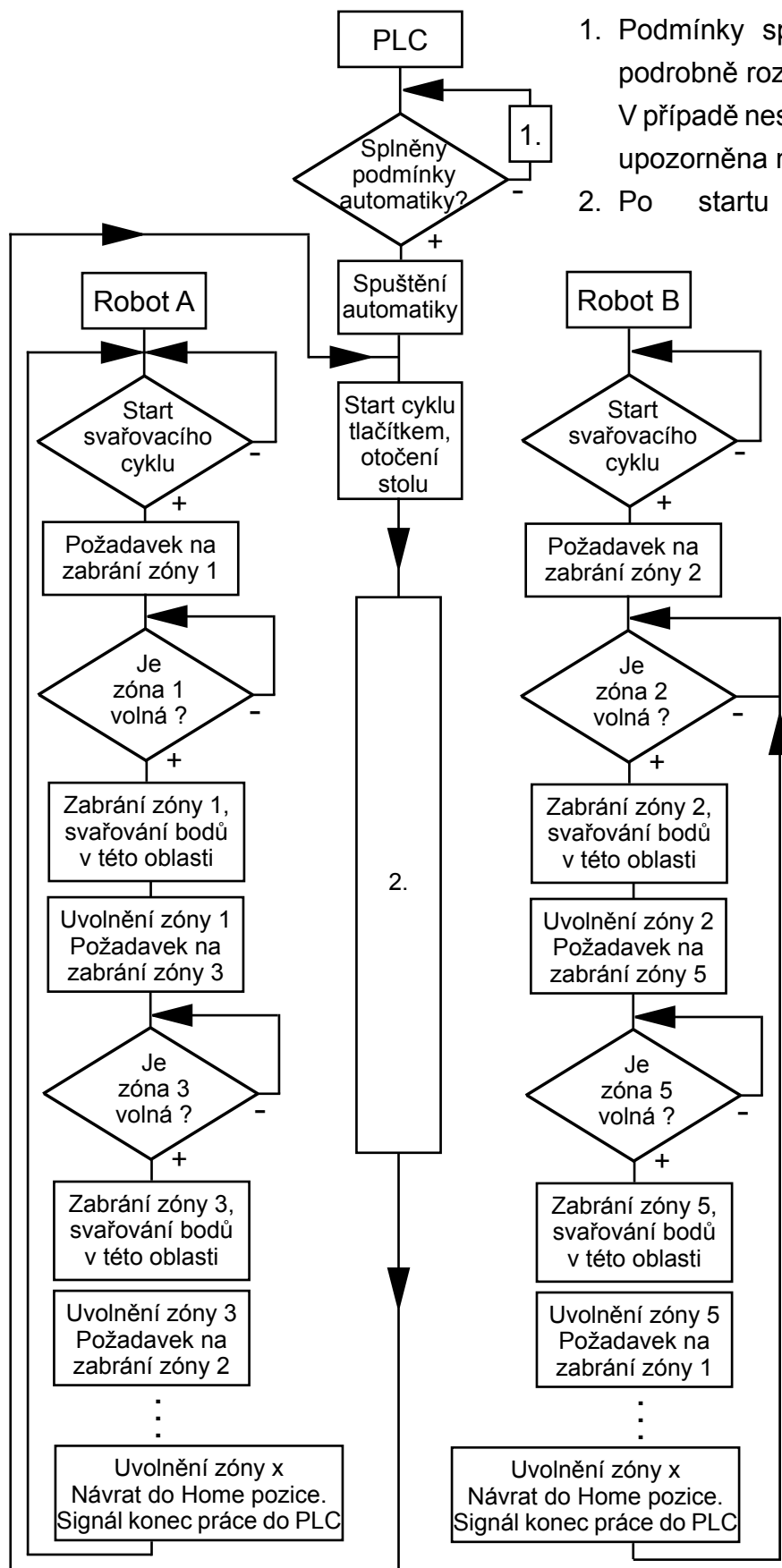
$$XP1 = \{X \ 676.535583, Y \ 630.845825, Z \ 1430.44202, A \ -137.502899, B \ -5.15664482, C \ -5.11419916, S \ 2, T \ 43, E1 \ 0.0, E2 \ 0.0, E3 \ 0.0, E4 \ 0.0, E5 \ 0.0, E6 \ 0.0\}$$



V tomto složitém formátu je zakódováno umístění v kartézském prostoru (X, Y, Z), rotace jednotlivých kartézských souřadnic (A, B, C), určení polohy při víceznačnosti kinematiky (S, T) a úhlové natočení externích os (E1 - E6).

Každý název bodu má v prostoru jednoznačnou pozici, na kterou se pomocí názvu bodu odkazuje.

4. Rychlost. Rychlost lineárního a kruhového pohybu určená v m/s. Pro rychlost PTP, „od bodu do bodu“, je určena procenty maximální možné rychlosti.
5. Název nastavení pohybových dat a kartézských souřadnic. Políčko je automaticky generováno od názvu svařovacího bodu a nemusí se nastavovat programátorem. Při pohybu kurzorem do tohoto políčka se otevírá další rozšiřující okno. Zde lze nastavit zpoždění operace. Např. zpoždění zavření kleští, oddálení svařování, atd. V našem případě byly veškeré parametry svařovacích bodů nastaveny v softwaru Aromat.
6. Aktivovaný nástroj. Lze nastavit až 6 svařovacích kleští.
7. Stav kleští po svařování. Lze nastavit otevření kleští do široka či na malý zdvih.
8. Celková tloušťka svařovaného materiálu. Maximální tloušťka je 100 mm.
9. Tlak (síla) kleští při zavření. Jednotky jsou v kN.
10. Kompenzace. Vyvážení kleští před svařením.
11. Vzdálenost, od které je po svaření bodu kompenzátor vypnut.
12. Číslo svařovacího bodu. Toto číslo je v binárním tvaru posláno na vstupy svařovacího invertoru. Každý svařovací bod má svoje vlastní unikátní číslo. Číslo odpovídá souboru svařovacích parametrů, které byly předem vloženy pomocí softwaru Aromat. Invertor poté vyhodnotí parametry svaření a posílá signál o stavu robotu. Pokud invertor vyhodnotí svár jako v tolerančních mezích, robot pokračuje v programu na další svařovací bod. V případě, že svár není v toleranci, robot zastaví, informuje PLC. PLC vyhlásí poruchu, na kterou musí adekvátně reagovat pracovníci obsluhou ovládacího panelu.



1. Podmínky spuštění externí automatiky podrobně rozebírám v kapitole 3.6 a 3.7. V případě nesplnění podmínek je obsluha upozorněna na panelu.

2. Po startu automatického režimu monitoruje PLC signály obdržené od robotů. PLC vzájemně přeposílá uvolnění a zabránění prostorů, kde je zamýšleno svařovat. Program nám nyní umožňuje až 10 jednotlivých zón. Z důvodu možné kolize se za žádných okolností nesmí nacházet oba roboty současně v jedné zóně. V případě zabránění prostoru prvním robotem a vyslání požadavku na zabránění stejného prostoru druhým robotem, PLC tento stav vyhodnotí a druhému robotu znemožní pohyb do prostoru. Po uvolnění prostoru prvním robotem, umožňuje pokračovat robotu druhému. V našem případě je svařovací sekvence programovaná tak, aby byly zóny vždy volné a robot měl dostatek času uvolnit prostor před svařováním robotem druhým.

Obr. 5.10. Vývojový diagram svařovacího cyklu



Svařovací podprogram **Stul_1D**, na který je odkazováno z hlavního programu:

```
DEF Stul_1D( )

INI

;FOLD OnlineTest Celkove
OT = {Modul 0, AFO_Svar FALSE, AFO_Vjezd FALSE,AFO_Odjezd FALSE, AFO_odvozDilu FALSE, AFO_
zalozDilu FALSE, Upinka_OPN FALSE,Upinka_CLS FALSE,Vzduch FALSE,Voda FALSE,Freza_Work
FALSE,Freza_Park FALSE,GR_OPN FALSE,GR_CLS FALSE,GR_Dil FALSE,GR_NDil FALSE,RobBlok FALSE,
Vyzavovak FALSE}

;OT RobBlok
$CYCFLAG[4] = ((Si_RobBlok01 or So_RobBlok01) and (Si_RobBlok02 or So_RobBlok02) and (Si_RobBlok03 or
So_RobBlok03) and (Si_RobBlok04 or So_RobBlok04) and (Si_RobBlok05 or So_RobBlok05) and (Si_RobBlok06
or So_RobBlok06) and (Si_RobBlok07 or So_RobBlok07) and (Si_RobBlok08 or So_RobBlok08) and (Si_
RobBlok09 or So_RobBlok09) and (Si_RobBlok10 or So_RobBlok10)) or NOT OT.RobBlok

;OT Afo
$CYCFLAG[3] = ((Si_PovoleniHlavni and (((Si_PodPovoleni01 or NOT So_Pozice01) and (Si_PodPovoleni02 or
NOT So_Pozice02) and (Si_PodPovoleni03 or NOT So_Pozice03)) or OT.Upinka_OPN)) or NOT OT.AFO_svar or
EG_TORQ_MODE)

;OT obecne
$CYCFLAG[2] = $MOVE_ENABLE and (Si_VzduchKleste or NOT OT.Vzduch) and ((Si_ChlazeniKleste and Si_
ChlazeniSvar) or NOT OT.Voda or $T1) and (So_Vyzavovak or NOT OT.Vyzavovak)

;OT celkove
$CYCFLAG[1] = $CYCFLAG[2] and $CYCFLAG[3] and $CYCFLAG[4]
INTERRUPT DECL 7 WHEN NOT $CYCFLAG[1] DO Ir_Stop()
INTERRUPT ON 7
WAIT SEC 0.05
WAIT FOR $CYCFLAG[1]

;ENDFOLD OnlineTest Celkove

PTP HOME Vel=100 % DEFAULT

RobBlok06obsadit( )

So_Pozice01 = False
So_Pozice02 = False
So_Pozice03 = False
So_Pozice04 = True

wait for Si_VzduchKleste
wait for Si_ChlazeniKleste
wait for Si_ChlazeniSvar
wait for NOT So_Vyzavovak
OT.Vzduch = True
OT.RobBlok = True

wait for Si_PovoleniHlavni

OT.AFO_Svar = True

So_Uvolneni = False ; robot v pripravku
So_Dil_OK = True ; Svarovani doposud OK

PTP P0 CONT Vel=100 % PDAT0 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
PTP P1 CONT Vel=100 % PDAT1 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
```



PTP P2 CONT Vel=100 % PDAT2 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000055 Vel=100 % PDAT55 ProgNr=55 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P3 CONT Vel=100 % PDAT3 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000056 Vel=100 % PDAT56 ProgNr=56 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P4 CONT Vel=100 % PDAT4 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P5 CONT Vel=100 % PDAT5 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P6 CONT Vel=100 % PDAT6 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P7 CONT Vel=100 % PDAT7 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P8 CONT Vel=100 % PDAT8 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000059 Vel=100 % PDAT59 ProgNr=59 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P9 CONT Vel=100 % PDAT9 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000057 Vel=100 % PDAT57 ProgNr=57 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

RobBlok06uvolnit()

PTP P10 CONT Vel=100 % PDAT10 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000058 Vel=100 % PDAT58 ProgNr=58 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

; OTEVRIT UPINKU CISLO 5

RobPozice01()

PTP P11 CONT Vel=100 % PDAT11 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P12 CONT Vel=100 % PDAT12 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000060 Vel=100 % PDAT60 ProgNr=60 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P13 CONT Vel=100 % PDAT13 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P14 CONT Vel=100 % PDAT14 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P15 CONT Vel=100 % PDAT15 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P16 CONT Vel=100 % PDAT16 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P17 CONT Vel=100 % PDAT17 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P18 CONT Vel=100 % PDAT18 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P19 CONT Vel=100 % PDAT19 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000053 Vel=100 % PDAT53 ProgNr=53 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

RobBlok01obsadit()

PTP P21 CONT Vel=100 % PDAT11 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P22 CONT Vel=100 % PDAT11 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP P23 CONT Vel=100 % PDAT12 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

PTP SG0000020 Vel=100 % PDAT20 ProgNr=20 ServoGun=1 Cont=CLS OPN Part=9 mm Force=3 kN Comp=1
Trigger=-5 mm Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D

RobBlok01obsadit()



```
PTP P13 CONT Vel=100 % PDAT13 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
PTP P14 CONT Vel=100 % PDAT14 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
....
....
....

PTP P107 CONT Vel=100 % PDAT107 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
PTP P108 CONT Vel=100 % PDAT107 Tool[1]:Kleste Base[1]:Stul_D
PTP HOME Vel=100 % DEFAULT
```

```
wait sec 0
OT.AFO_Svar = False
So_RobBlok01=True
So_RobBlok02=True
So_RobBlok03=True
So_RobBlok04=True
So_RobBlok05=True
So_RobBlok06=True
KonecPrace( )

So_Pozice01 = False
So_Pozice02 = False
So_Pozice03 = False
So_Pozice04 = False
So_Uvolneni = True ; robot mimo pripravek
```

END

Název programu **Stul_1D** kóduje číslo vyráběného sortimentu a stranu, na které je svařováno. Jelikož zde máme pouze jediný sortiment, všechny svařovací programy obsahují číslo 1. Písmeno D značí pracoviště. I v případě, že používáme stejný sortiment a teoreticky stejné trajektorie, každá strana stolu má svoje vlastní programy. Důvodem je nepatrná asymetrie při kotvení stolů a robotů. Nelze nainstalovat jednotlivá zařízení tak, aby odpovídaly modelu simulace v řádech setin. Vždy při otáčení stolů budou odchylky. Jednoúčelové zařízení, které je instalováno v blízkosti naší stanice, má třípolohový otočný stůl, s jednotlivými pozicemi označenými A, B a C. Dle přání zákazníka bylo pro lepší přehlednost pokračováno v kódování zavedeném předchozími integrátory. Naše první stanice má označení stran stolu D a E a druhá pak F a G.

Na předcházejících řádcích jsme měli možnost prohlédnout si program pro odporové svařování. Z důvodu jeho obsáhlosti byl zkrácen o většinu pohybových bodů, které se neustále opakují. Na začátku programu se nacházejí podrobně rozepsané online podmínky. Jedná se o podmínky, které při změně stavu provádějí okamžitě nějakou reakci. V našem případě zastaví roboty, například chybí-li vzduch v hlavním zásobníku, není-li zajištěn chladicí okruh svařovacích kleští, pokud vyvažovací zařízení servokleští není připraveno nebo průtokoměr nedetekuje dostatečný průtok vody. Tímto způsobem jsou řešeny i blokační zóny robotů mezi sebou nebo povolení od upínacích členů. Lze si zde všimnout podprogramu



RobBlokxxobsadit, kde se ještě před pohybem robota z Home pozice zablokuje prostor. Druhý robot, který kříží dráhu robota prvního, má v kolizním místě stejný program. Pokud je prostor zabrán, má podmíněno zastavení pohybu, dokud není tento prostor opětovně uvolněn. Uvolnění prostoru je provedeno podprogramem **RobBlokxxuvolnit**. Robot, který tedy zabere prostor první, může vykonávat svojí pracovní sekvenci a druhý robot čeká na uvolnění prostoru. V ideálních podmínkách roboty navštěvují a opouštějí tyto blokovací zóny tak, že nezastavuje žádný robot. Blokovací zóny jsou pak v tomto případě vytvořeny z bezpečnostních důvodů. Kolize robotů i v mnohem menší než maximální rychlosti může způsobit velké, nevratné škody na zařízení nebo i několikadenní odstavení výroby. Pro takto poškozeného subdodavatele s menšími kapacitami předvyrobených dílů, může taková komplikace způsobit odstavení výroby i u koncového zákazníka, a tím i obrovské penále.

Podobný systém ochrany zařízení je zvolen i v případě, kdy je potřeba otevírat upínací zařízení přípravku. Upínací zařízení slouží k pevné fixaci jednotlivých dílů. V pokročilejší fázi programu, kde jsou díly již svařeny a pevně drží, může nastat potřeba upínky odjistit a otevřít, pokud jsou v kolizi s trajektorií robota nebo se v místě uchycení nachází svařovací bod. V našem případě je žádost o otevření upínek zprostředkována pomocí podprogramu **RobPozicexx**. Na příslušný výstupní signál robota reaguje programovatelný automat PLC. Upínací zařízení je otevřeno, zkontrolován stav koncové polohy upínky, a pokud je vše ve shodě, robot obdrží vstupní signál, na který robot čeká. Opět platí, že pokud by došlo ke kolizi robota s přípravkem, mohlo by dojít k nevratnému poškození například svařovacích kleští nebo k mechanické deformaci upínacích členů, které by pak nemusely plnit jejich fixační funkci.

Po provedení celého cyklu programu následuje opět obligátní návrat do Home pozice, ze které pohyb obou robotů začíná. Podprogram **KonecPrace** informuje PLC automat o ukončení cyklu. Na konci programu jsou blokační zóny robotů resetovány a PLC otočí stůl o 180°, uvolní blokování upínek a umožní obsluze vyjmout svařený výrobek. Po vyjmutí svařence je vše připraveno na nový, následující cyklus.



6. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo popsat realizaci projektu robotizovaného pracoviště pro svařování rámu pro koncern Volkswagen, na kterém jsem se v týmu přímo aktivně podílel. Využil jsem tak možnosti, které jsem měl díky práci programátora průmyslových robotů ve společnosti Blumenbecker Prag s.r.o. Obtížný projekt dopadl k mé radosti velmi úspěšně a výrobky z tohoto pracoviště bude možno denně potkávat na našich silnicích. V nejbližších týdnech zde dojde k rozšíření výroby o další sortiment. Bude se opět jednat o rámy zadních sedadel, tentokrát pro vozy značky Audi.

Samotná diplomová práce je rozdělena na několik částí. V první části hned po úvodu se zabývám simulací. Zde popisuji simulační rozhraní SimPro a několik návrhů až po finálně zvolený a realizovaný koncept. Uvádím zde důvody pro jeho zvolení a předpokládaný dosažený takt pracoviště. Další část diplomové práce se zabývá řízením pracoviště a jeho jednotlivými součástmi. Jelikož jsou v našem případě oba roboty řízeny z nadřazeného zařízení, je zde popisován programovatelný automat PLC, spouštěcí sekvence a důležité signály, které si mezi sebou PLC a roboty vyměňují.

Vše je doplněno o programový kód a popisky pro snadné pochopení funkce. Obsáhlá část se pak věnuje teorii svařování a parametrizaci svařovacích bodů. Ke konci této kapitoly pojednávám o dosaženém taktu pracoviště a uvádím problémy, se kterými jsem se potýkal. V závěru diplomové práce rozebírám části svého programu, s přehledným popisem a důležité vlastnosti robota. Popis programového kódu robota jsem se snažil oživit prokládáním popisem uživatelského prostředí nebo například vlastnostmi a některými důležitými funkcemi robota. Po celou dobu psaní jsem se pokoušel o dobrou srozumitelnost i pro čtenáře neznalého průmyslové robotiky, avšak není zde dostatek prostoru pro hlubší probírání této problematiky. Domnívám se, že jednotlivé kapitoly jsou celkem dobře vyvážené a to nejdůležitější, co jsem měl v úmyslu sdělit, zde čtenář najde.

S odstupem času, kdy jsou obě pracoviště dostatečně prověřena stovkami hodin výroby, ještě doplním poznatky z reálného provozu. Čas cyklu odvozený z výpočtu předpokládaného množství poptávaného výrobku stále nebyl splněn. Důvodem je pomalé zakládání dílců obsluhou, dané převážně nezkušeností. Další příčinou je občasné zastavení cyklu při kontrolních procedurách. Nově vyrobené, tvarované a střížené dráty vykazují malé odchylky, které mají nepříznivý vliv v celkové sestavě. Zákazník bude patrně muset zauvažovat o snížení tolerančních odchylek na ohýbacích strojích a zajistit materiál na vstupu tak, aby vykazoval minimální rozdíly. Dále je všeobecně potřeba na všech svařovacích pracovištích udržovat zakládací přípravky v čistotě. Přípravek, který je obalen odpadním materiálem z rozstříku nemůže plnit dostatečně svojí funkci. U materiálů, kde je povrch pokrytý nečistotami a mastnotou,



nelze zajistit správné svařovací parametry. Tyto komplikace postihují především velké, těžké provozy a automobilové závody. Jedná se především o bodové svařování plechů. Na našem pracovišti se s těmito problémy naštěstí nemusíme potýkat.

Diplomová práce splnila dle mého mínění vytyčené cíle a obsahuje velké množství zajímavých informací a fotografií z aplikace svařovacího pracoviště. Zároveň zde zcela záměrně neuvádím konkrétní schémata, rozměry, plány zapojení ani parametry svařovacích bodů. Respektuji tím přání svých nadřízených, že jisté „know-how“, které naše společnost na této zakázce získala, zůstane mimo řádky této diplomové práce.



7. Použité informační zdroje

Literatura:

- [1] PRUDKÝ, Jan. a kol.: *Teorie a metodika svařování*, 1986, 143 stran, vydavatel ČVUT v Praze, číslo publikace 5587.
- [2] KUNCIPÁL, Josef. a kol.: *Teorie svařování*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.
- [3] PLÍVA, Ladislav.: *Odporové svařování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975, 265 s.
- [4] PLÍVA, Ladislav.: *Odporové svařování v praxi*. Praha, SNTL, 1963.
- [5] BARTÁK, Jiří. Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce. Praha: Dashöfer, 2012-, 2 sv. (růz. stránkování). ISBN 1805-2835.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.
- [7] LANE, J.: *Robotic Welding: International Trends in Manufacturing Technology*., Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K, 1987, 448 stran.
- [8] KUKA Roboter GmbH, *KRC2 / C3 Configuration, KUKA System Software (KSS) Release 5.2, 2009*.
- [9] KUKARoboter GmbH, *KRC2 / C3 Exper Programming, KUKA System Software (KSS) Release 5.2, 2003*.
- [10] KUKA Roboter GmbH, *KUKA System Software 8.2: Návod k obsluze a programování pro konečné uživatele, KUKA System Software (KSS), Verze: KSS 8.2 END V1 C5, Vydáno 27.1 2011*.
- [11] ALBRECHT, I.: *Technické vybavení a programovací jazyk průmyslových robotů KUKA*, 2012, 25 stran, Univerzita Pardubice, Odborný projekt 2.



Web:

- [12] <http://www.arotechnologies.com/>
- [13] http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
- [14] <http://www.kuka.be/kukasim/>
- [15] <http://www.schinkmann.cz>
- [16] <http://www.xing.com/net/schweisstechnik/resistance-welding-357816/resistance-welding-with-servo-guns-what-are-the-benefits-28229982>
- [17] <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/10-21.pdf>
- [18] http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Spot2_2004.pdf
- [19] http://www.welding.cz/vyvoj/svar_02/02_2-3.htm

- [20] KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařování elektrickým odporem*. [online]. [cit. 2013-02-08].
- [21] BARTOŠ, Libor. *Technologie svařování*. [online]. s. 53 [cit. 2013-02-11].