



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ROBOTIZOVANÁ PRACOVIŠTĚ PRO TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ S DŮRAZEM NA PERIFERNÍ ZAŘÍZENÍ

WELDING ROBOTIZED WORKPLACES WITH EMPHASIS ON PERIPHERAL DEVICES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Šperl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Vojtěch Šperl
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2018/19

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

Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování s důrazem na periferní zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úvod do projekčně – konstrukčního řešení robotických buněk pro výrobní operace s různými druhy svařování pomocí průmyslového robotu (PR).

Analýza současného sortimentu součástí a dílců, vhodných pro robotické svařování.

Podrobný popis všech známých a dostupných periferních zařízení RTP vhodných pro nesení a polohování přípravku se svařencem.

Příklady úspěšných aplikací robotizovaných technologických pracovišť (RTP), popis komponent RTP a vyobrazení PR a periferních zařízení.

Vyhodnocení přínosu (nebo záporů) RTP po jeho realizaci ve strojírenském podniku.

Vlastní závěry analýzy a doporučení robotizovat procesy.

Cíle bakalářské práce:

Cílem je sestavit přehled vzorových typů robotizovaných pracovišť, které se využívají v technologiích svařování elektrickým obloukem nebo plynem v ochranné atmosféře apod. Jejich popisem a technicko–ekonomickým zhodnocením pak uvést výhody a nevýhody v použití robotu, jako náhrady za člověka ve výrobním procesu.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na robotizované pracoviště technologie svařování. Práce se dělí do čtyř částí. První část práce se zabývá klasifikací a základy rozdělení robotů. V druhé části práce je uvedeno nasazování robotů současnosti v jednotlivých průmyslových odvětvích. Předposlední část je věnována robotizovanému svařování. Jsou zde uvedeny části robotizovaných pracovišť pro svařování a používaná periferní zařízení v současnosti. Závěr práce pojednává o výhodách a nevýhodách robotizovaného pracoviště, vzorových pracovištích a dílcích vhodných pro robotizované svařování.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on a robotized department of welding technology. The paper is divided into four parts. The first part deals with classification and the basic division of robots. The second one introduces the current deployment of robots in different industrial branches. The penultimate part is dedicated to the robotic welding. It talks about different sectors of robotic workplaces for welding and describes the peripherals that are being used today. In the conclusion, the thesis analyses the pros and cons of robotized workplaces and also discusses example workplaces and components that are propitious for robotized welding.

KLÍČOVÁ SLOVA

robot, průmyslový robot, manipulátor, periferní zařízení, robotizované pracoviště, robotické svařování

KEYWORDS

robot, industrial robot, manipulator, peripheral equipment, robotized workplace, robotic welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPERL, V. *Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 48 s., Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. 5. 2018

.....
Šperl Vojtěch

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za věcné připomínky, cenné rady, trpělivost a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MANIPULÁTORŮ A ROBOTŮ A JEJICH KLASIFIKACE	17
2.1	Definice a systémová skladba průmyslového robotu	17
2.2	Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů	18
2.2.1	Jednoúčelové manipulátory	18
2.2.2	Univerzální manipulátory	19
2.2.3	Synchronní manipulátory	20
2.2.4	Programovatelné průmyslové roboty a manipulátory	21
2.3	Druhy pohonů PRaM	22
2.4	Polohovací ústrojí průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)	22
2.4.1	Kinematické dvojice v základním kinematickém řetězci (ZKŘ)	22
2.4.2	Části kinematické struktury PRaM	23
2.4.3	Senzorika PRaM	23
3	NASAZOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	24
3.1	Statistiky nasazování robotických jednotek ve světě v současnosti	24
3.2	Nasazování průmyslových robotů a manipulátorů v průmyslu	25
3.2.1	Automobilový průmysl	25
3.2.2	Elektrotechnický průmysl	26
3.2.3	Kovozpracující průmysl	27
4	ČÁSTI RTP PRO SVAŘOVÁNÍ	28
4.1	Svařovací robot	28
4.2	Polohovadla	29
4.2.1	Otočné stoly	29
4.2.2	Horizontální jednoosá polohovadla	29
4.2.3	Dvouosá polohovadla	30
4.2.4	Polohovadla s více stanovišti	30
4.3	Pojezdové dráhy	30
4.4	Zařízení pro čištění svařovací hubice	32
4.5	Odsávací zařízení	32
4.6	Bezpečnostní spojka	33
4.7	Podávací zařízení svařovacího drátu	34
4.8	Vyhledávání místa svaru	34
4.8.1	Vyhledávání startovací pozice dotykem	34
4.8.2	Vyhledávání svarů v průběhu svařování	35
5	RTP PRO TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	35
5.1	Výhody robotizovaného pracoviště	36
5.2	Úskalí robotizovaného pracoviště	36
5.3	Bezpečnost práce na robotizovaném pracovišti	36
5.4	Vzorová robotizovaná pracoviště pro technologie svařování	37
5.4.1	RTP s jedním robotem, horizontálním polohovadlem a pevným stolem	38
5.4.2	RTP s robotem na krátké pojezdové dráze před dvěma horizontálními polohovadly	39
5.4.3	RTP s robotem zavěšeným na portálu nad horizontálním polohovadlem	40
5.4.4	RTP s jedním robotem a otočným stolem s dvěma stanovišti	41

5.4.5	RTP s robotem zavěšeným na dvouosém portálu nad dvěma polohovadly	42
5.5	Úspěšná aplikace RTP pro svařování – svařování podvozku vagónů	43
5.6	Dílce vhodné pro robotické svařování.....	44
6	ZÁVĚR.....	47
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48

1 ÚVOD

První snaha o využití stroje podobného člověku je téměř tak stará jako lidská kultura. Vůbec první zmínky o samohybných mechanismech pocházejí z Číny a Řecka. Od té doby automatizace pokročila tak, že v dnešní době si průmyslovou výrobu bez automatizace těžko dokážeme představit. Právě stroje nazývané roboty a manipulátory, které se dnes široce průmyslově využívají, mají za úkol plnit určité funkce za člověka. Robotizace a automatizace výroby za účasti NC, CNC, DNC strojů také přináší zdokonalování počítačové podpory a komplexní vývoj systému CIM (Computer Integrated Manufacturing). Vlivem automatizace a robotizace výroby se tedy přenáší větší odborná činnost na programátory a seřizovače strojů. Naopak u obsluhy stroje se nároky snižují.

U konvenčních strojů je pořizovací cena mnohem nižší než u automatizovaných. Nasazení automatizovaných strojů je vhodné zejména u sériové výroby, kdy je počítáno s větším počtem výrobků produkovaných strojem. Další uplatnění automatů a robotů lze očekávat tam, kde je nevhodné nebo nemožné nasazení lidské pracovní síly. To může být způsobeno například nevhodnými pracovními podmínkami nebo třísměnným provozem.

Roboty a manipulátory můžeme rozlišit podle odvětví průmyslu, ve kterém našly své využití. V dnešní době můžeme najít jejich zastoupení a využití například v potravinářském, textilním, dřevozpracujícím, chemickém, gumárenském nebo automobilovém průmyslu. Dalším základním rozlišovacím znakem pro automatizovaná a robotizovaná pracoviště je technologie. Robotizovaná a automatizovaná pracoviště mohou být specializovaná na různé technologické procesy jako je tváření, obrábění, manipulace a doprava, kontrola, povrchová úprava, montáž, lití, kování, lisování, stříkání barev a v neposlední řadě svařování. Právě robotizovaná pracoviště pro technologie svařování jsou tématem této práce.

Robotizované technologické pracoviště (dále jen RTP) pro svařování patří mezi nejpočetnější skupiny navrhovaných a realizovaných pracovišť. Robotizovaná pracoviště v oblasti svařování disponují řadou výhod oproti nerobotizovaným pracovištím. Mezi hlavní výhody patří zvýšení produktivity práce, snížení nákladů na výrobu, vysoká kvalita svarů, možnost svařovat obtížně svařitelné materiály, adaptace na navazující procesy a úspora pracovní síly. Nicméně tato technologie čítá řadu požadavků na svařované předměty. Například povrch svařenců musí být čistý, svařovaná místa musí být dobře dostupná a musí být zajištěna přesnost výroby. Dalším požadavkem pro správné fungování pracoviště je určení referenčních bodů, čímž dochází k správnému ustavení svařovaného předmětu. Zásadním problémem při budování RTP je tzv. polohová adaptivita. Právě proto se klade důraz na použití správného senzorického systému, který má za úkol sledovat dráhu svaru. [1], [2]

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MANIPULÁTORŮ A ROBOTŮ A JEJICH KLASIFIKACE

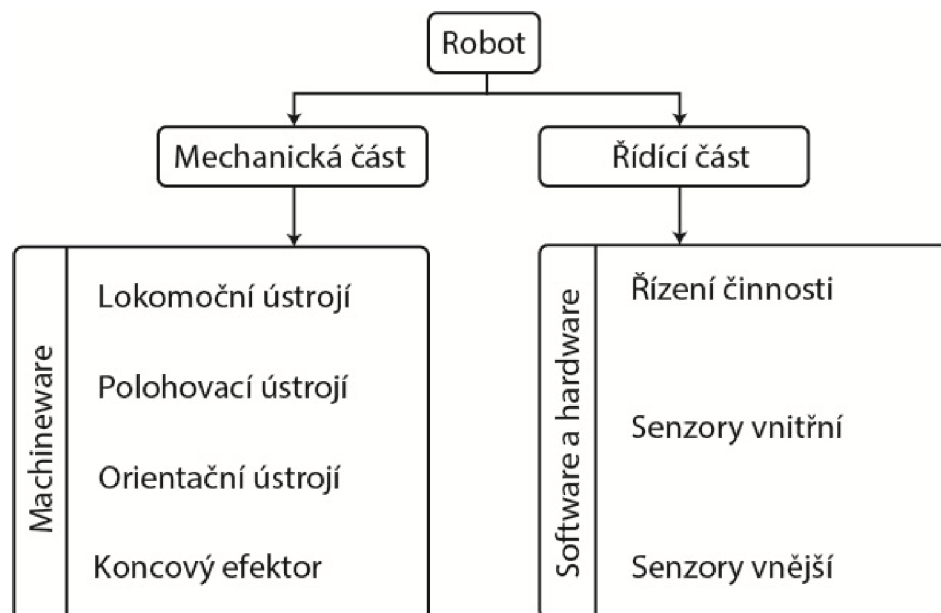
2.1 Definice a systémová skladba průmyslového robotu

Dle normy ISO 8373 je robot definován jako: „Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více (pohybových) osách, který může být pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“

Výbornou definici pojmu robot definoval Doc. Ing. Ivan Havel, CSc.: „Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí“

Pojem průmyslový robot vystihl prof. P. N. Beljanin ve své definici: „Průmyslový robot je autonomně fungující stroj – automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka zrakem, hmatem, pamětí apod., schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí“.

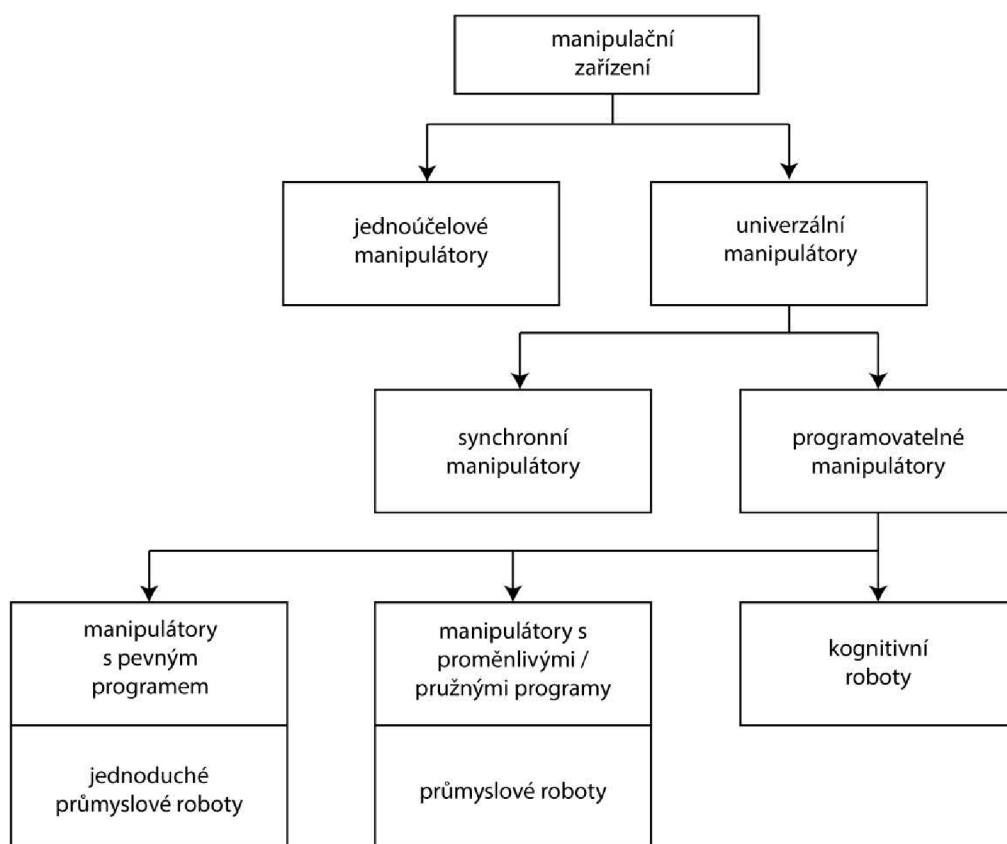
Průmyslový robot je soustava složená z jednotlivých subsystémů (viz *obr. 1*). Ty spolu vzájemně spolupracují podle určitých pravidel, ovlivňují se a jsou mezi sebou interaktivně vázány. [1], [35], [37]



Obr. 1) Systémová skladba průmyslových robotů [37]

2.2 Rozdělení manipulačních zařízení a generace robotů

Samotné roboty řadíme mezi manipulační systémy. Manipulační systémy rozlišujeme dle schématu na *obr. 2.* [1]



Obr. 2) Rozdělení manipulačních systémů [1]

2.2.1 Jednoučelové manipulátory

Využívají se u velkosériové a hromadné výroby. Mají za úkol automatizovat manipulační práce u linek a jednoučelových strojů. Konstrukčně jsou z velké části podřízeny stroji. Jejich funkce je omezená, proto jsou často označovány jako podavači nebo autooperátory. Jak název jednoučelové manipulátory naznačuje, jsou tyto manipulátory schopny manipulace pouze s jedním určitým předmětem nebo předmětem s rozměry podobnými předmětu, pro který je manipulátor primárně navržen. Jako příklad lze uvést jednoučelový manipulátor pro výměnu nástrojů u obráběcího centra od firmy VÚTS (viz *obr. 3.*) [3], [5]



Obr. 3) Jednoúčelový manipulátor pro výměnu nástrojů u obráběcího centra [4]

2.2.2 Univerzální manipulátory

Jsou protikladem jednoúčelových manipulátorů. Mají vlastní řízení. Funkcí, pohonem a provedením jsou nezávislé na obsluhovaném stroji. Univerzální manipulátory se dělí na 2 další větve: synchronní manipulátory a programovatelné manipulátory. [1], [3], [5]



Obr. 4) Univerzální manipulátor Reid-Ashman OM1320

2.2.3 Synchronní manipulátory

Synchronní manipulátory nazývané také teleoperátory pracují synchronně s pracovníkem. Tyto manipulátory slouží k zesilování silových a pohybových popudů, které jsou vyvolávány pracovníkem.

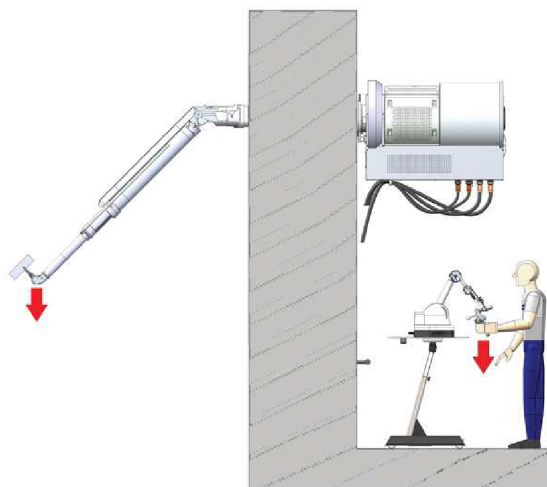
V této větvi manipulátorů se využívá systém řízení označovaný jako MASTER-SLAVE. Jedná se o systém, kdy synchronní manipulátor pracuje na základě podnětů operátora. Manipulátor na rozdíl od člověka může pracovat i v nebezpečném prostředí, proto systém řízení MASTER-SLAVE nachází uplatnění zejména tam, kde je nasazení lidské pracovní síly nemožné (např. radioaktivní prostředí nebo práce pod vodou).

Synchronní manipulátory v současnosti našly uplatnění zejména v kosmickém a podmořském odvětví, kde slouží jako průzkumníky (viz obr. 5). Mnohé z nich disponují vysokou technickou úrovní hardwaru, softwaru a dobrými mechanickými vlastnostmi.

Mezi synchronní manipulátory patří exoskeletony. Jedná se o zařízení, kdy se pracovník pohybuje přímo se zařízením (viz obr. 7) [1], [3], [5]



Obr. 5) Robot Interact Centaur Morgensen testovaný v kosmonautice [7]



Obr. 6) Synchronní manipulátor [10]



Obr. 7) Robotický exoskeleton pro zvedání těžkých břemen [8]

2.2.4 Programovatelné průmyslové roboty a manipulátory

Další podkategorií univerzálních manipulátorů jsou manipulátory programovatelné. Jedná se o manipulátory a roboty řízené programovacím ústrojím. Rozlišujeme tři skupiny těchto manipulátorů: manipulátory s pevným programem, manipulátory s proměnlivými/pružnými programy, kognitivní roboty.

- **Manipulátory s pevným programem** - program je stálý a během činnosti manipulátoru se nemění. Mají jednoduché provedení, které je spolu s vysokou spolehlivostí jejich hlavní výhodou. Mohou být označovány také jako roboty 1. generace.
- **Manipulátory s proměnlivým programem** - zařízení je schopno během své činnosti přepínat nebo volit mezi různými programy, kterými je zařízení řízeno. Změna programu většinou reaguje na okamžitou situaci zařízení (adaptivní řízení). Jsou nazývány roboty 2. generace.
- **Kognitivní roboty** - roboty jsou schopné na základě vjemů, kterými jsou vybaveny racionálně myslet a na základě vjemů jednat. Jedná se o roboty 3. generace. [2], [5]



Obr. 8) Humanoidní Robot ARMAR-4 [6]

2.3 Druhy pohonů PRaM

Pohony zajišťující pohybové úkony PRaM se volí zejména podle požadované rychlosti a přesnosti pohybu. Jednotlivé pohony mají své přednosti a nevýhody, které nutno zvažovat při volbě pohonu. Používají se následující pohony: [1], [5]

- mechanické pohony
- pneumatické pohony
- hydraulické pohony
- elektrické pohony
- kombinované pohony

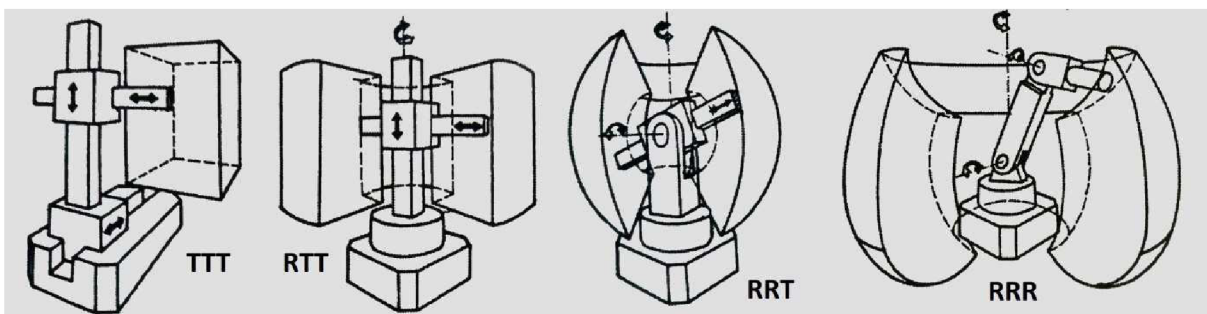
2.4 Polohovací ústrojí průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)

Vnější stavba a vzhled PRaM jsou podmíněny zejména kinematickou strukturou. Právě kinematická struktura, která je dána sledem kinematických vazeb, určuje pohybové možnosti robotu. [1], [2], [3], [5]

2.4.1 Kinematické dvojice v základním kinematickém řetězci (ZKŘ)

K polohování referenčního bodu po přímce (translační pohyb „T“) nebo kružnici (rotační pohyb „R“) postačí pouze jeden stupeň volnosti. Pro polohování referenčního bodu v prostoru je zapotřebí třech stupňů volnosti. V nepřístupných prostorech se používá více stupňů volnosti. V praxi se rozšířily 4 základní typy spojení kinematických dvojic se třemi stupni volnosti umožňující pohyb referenčního bodu v prostoru (viz *obr. 6*).

- **TTT** – tři translační kinematické dvojice (typ „K“); kartézský pracovní prostor (kvádr)
- **RTT** – jedna rotační a dvě translační kinematické dvojice (typ „C“); cylindrický segment (válcový)
- **RRT** – dvě rotační a jedna translační kinematická dvojice (typ „S“); sférický segment (kulový)
- **RRR** – tři rotační kinematické dvojice (typ „A“); torusový segment (oblounový, multiúhlový) [1], [2], [3], [5]



Obr. 9) Základní typy pracovních prostorů [1]

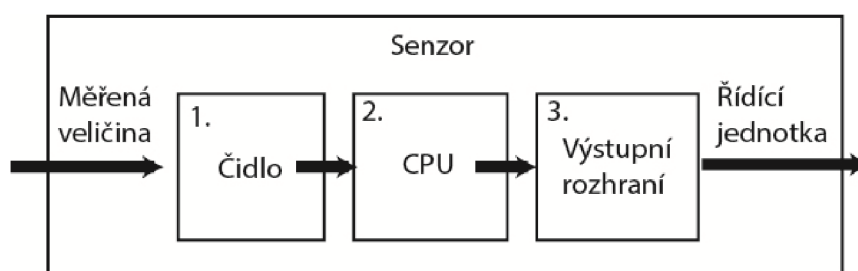
2.4.2 Části kinematické struktury PRaM

PRaM lze charakterizovat kinematickým principem, který z velké části přibližuje jeho možnosti a vhodnost pro plnění požadovaných operací. Kinematiku stroje popisuje kinematická soustava. Kinematickou soustavu ve většině případů tvoří tři základní složky.

- a) Kinematika základu
- b) Kinematika polohovacího ústrojí – tvořená většinou prvními třemi pohybovými jednotkami
- c) Kinematika orientačního ústrojí – umožňuje správné ustavení a natočení nástroje [1], [5], [3]

2.4.3 Senzorika PRaM

Hlavním částí vnímacího subsystému jsou senzory (snímače), které zajišťují sběr a vysílání signálů do řídicí jednotky. Komunikace mezi senzorem a řídicí jednotkou se skládá ze tří částí (viz obr. 10). [1], [5]



Obr. 10) Blokové schéma senzoru

1. **Vstupní** – vstup měřené veličiny a převedení na elektrický signál.
2. **Vnitřní** – zpracování signálu a případně kompenzace vlivu okolí. Skládá se z analogově digitálních převodníků (A/D převodníky), převodníků digitálně analogových (D/A převodníků), pamětí, mikroprocesorů, generátorů a komparátorů.
3. **Výstupní** – komunikace výstupního rozhraní s řídicí jednotkou.

Senzory můžeme dělit dle jejich umístění na senzory vnější a senzory vnitřní

- **Vnitřní senzory** – sledují činnost samotného robotu, patří mezi ně například senzory polohy, rychlosti, natočení, proudu nebo výkonu.
- **Vnější senzory** – sledují pracovní prostředí. Senzory se mohou nacházet uložené i mimo robot. Snímače mohou zaznamenávat například parametry pracovního prostoru (teplotu, rozměr), parametry předmětu nebo informace o poloze nástroje. Svařovací roboty jsou vybavené čidly, která zaznamenávají důležité parametry, jakou je například napětí, proud, vnesené teplo nebo podávání přídatného materiálu.

Obecně se senzory dělí podle druhu zaznamenávaných informací.

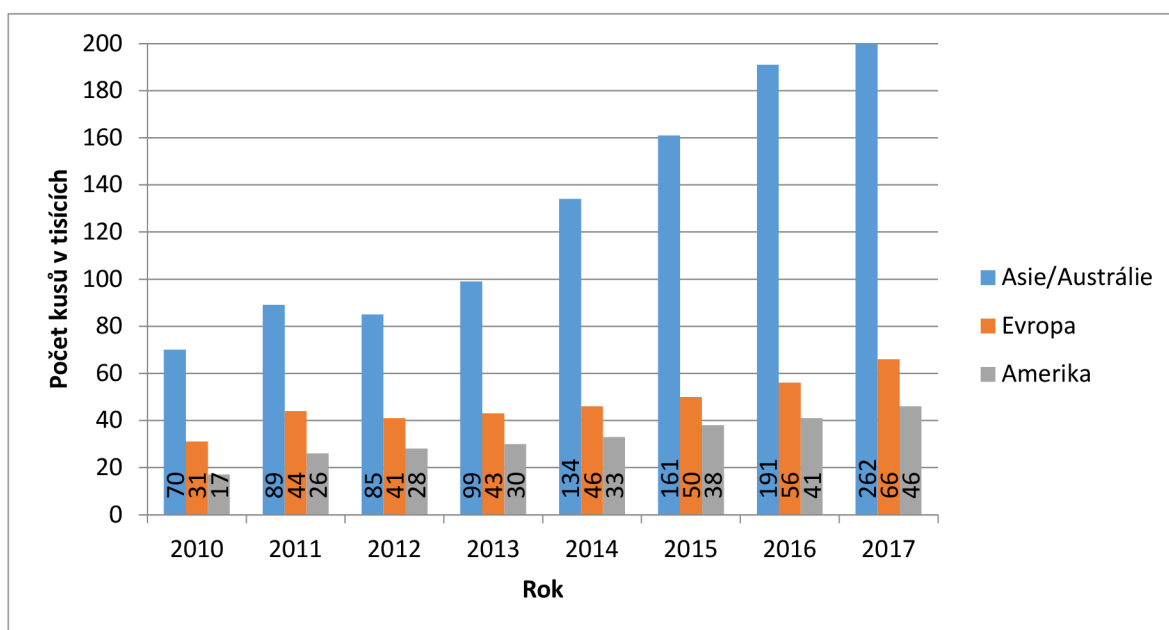
- a) **Vizuální senzory** – vytváří obrazy okolí robotu, patří k nejdůležitějším sensorům robotu.
- b) **Proximitní senzory** – jedná se o tzv. bezdotykové snímání polohy pomocí odražené energie (např. ultrazvuk, laser). Mohou reagovat na přiblížení předmětu do určité vzdálenosti (např. senzory kapacitní nebo indukční).

- c) Taktilní senzory – získávají informace přímo fyzickým dotykem s předmětem.
- d) Akustické senzory – indikují a snímají zvukové podněty. [1], [5]

3 NASAZOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

3.1 Statistiky nasazování robotických jednotek ve světě v současnosti

Statistiky zveřejněné IFR (International Federation of Robotics) o prodeji robotů v roce 2017 zaznamenaly 30% nárůst. Počet prodaných kusů za rok 2017 tedy činil 381 335 kusů (viz obr. 11). Hlavní zásluhu na tom měl především kovozpracující a elektronický průmysl. Od roku 2010 můžeme zaznamenat zvyšující se poptávku po průmyslových robotech. To je způsobeno především pokračujícím trendem směřujícím k automatizaci a inovativnímu technickému vylepšení průmyslových robotů. [22], [36]



Obr. 11) Počet robotických jednotek prodaných v roce 2010-2017 [22]

Porovnání nasazování robotů v různých státech může být zavádějící, proto se používá míra hustoty robotů. Jde o vyjádření počtu průmyslových robotů na 10 000 osob zaměstnaných ve zpracovatelském průmyslu, aby se zohlednily rozdíly mezi jednotlivými státy. Zavedením této hustoty dostáváme více vypovídající výsledky.

V roce 2017 byla globální hustota 85 instalovaných průmyslových robotů na 10 000 zaměstnanců. Mezi nejvíce automatizované země patří Jižní Korea, Singapur, Německo a Japonsko. Nejvyšší hustotu robotů má Jižní Korea, v roce 2017 bylo na 10 000 zaměstnanců v provozu 710 průmyslových robotů.

V Evropě je Německo zemí s největším stupněm automatizace s hustotou 322 instalovaných průmyslových robotů na 10 000 zaměstnanců. Česká republika v roce 2017 s hustotou 101 instalovaných průmyslových robotů na 10 000 zaměstnanců obsadila až 20. místo. [22], [36]

3.2 Nasazování průmyslových robotů a manipulátorů v průmyslu

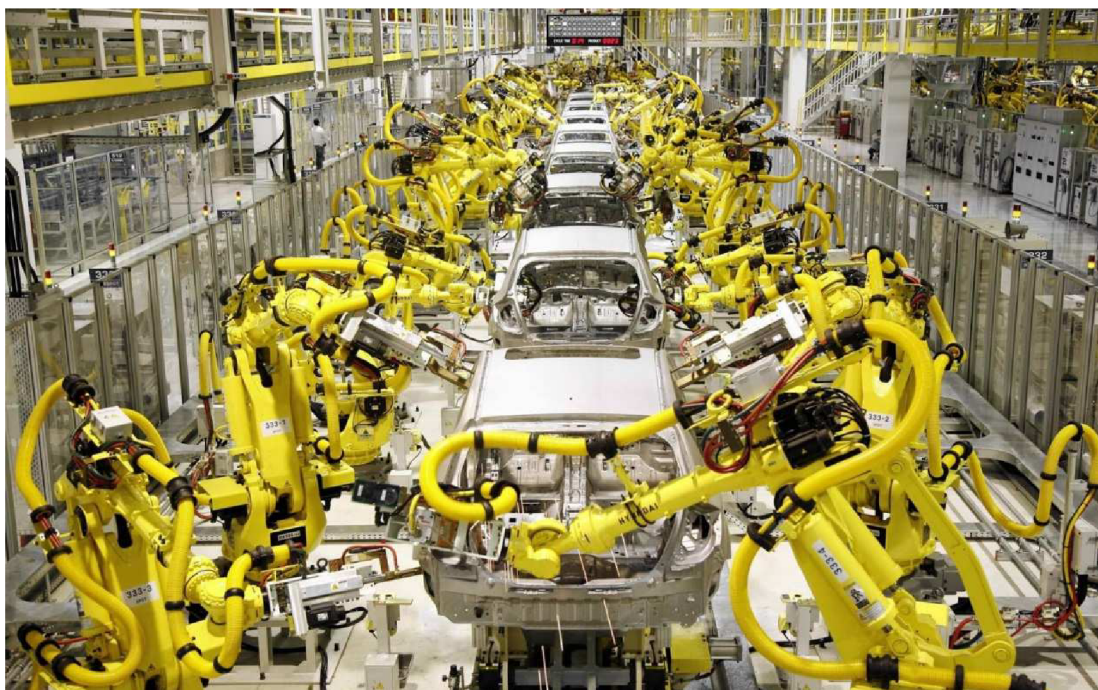
Robotizace a automatizace pracovišť je v dnešní době rozšířeným trendem ve všech odvětvích průmyslu. Nejvýznamnější zastoupení však automatizace a robotizace má v automobilovém průmyslu, elektrotechnickém průmyslu, kovo zpracujícím průmyslu. [22]

3.2.1 Automobilový průmysl

Automobilový průmysl patří trvale k průmyslu s největším počtem nasazování průmyslových robotů. Robotizace umožňuje zlepšit flexibilitu a rychlost výrobních linek. Součástí automobilového průmyslu je také samotná výroba dílů dodavateli pro automobilové výrobce. [24], [25], [11]

Průmyslové roboty zastávají mnoho činností v automobilovém průmyslu. Mezi roboty, které našly své uplatnění v automobilovém průmyslu, patří: [24], [25], [11]

- svařovací roboty pro obloukové a bodové svařování
- montážní roboty
- roboty na dokončovací operace
- roboty na nanášení laků a barev
- roboty určené k manipulaci s materiálem

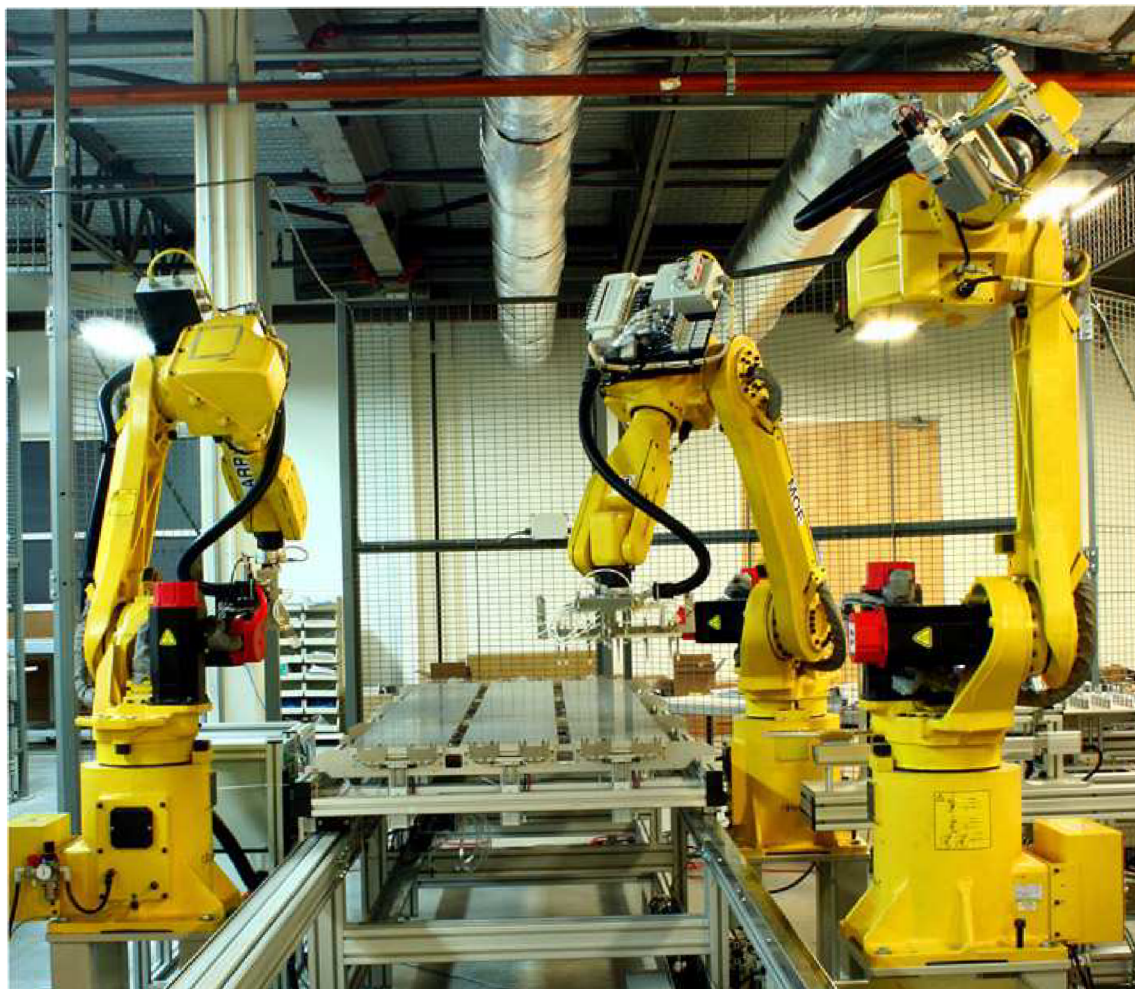


Obr. 12) Průmyslové roboty v automobilovém průmyslu (montážní linka) [26]

3.2.2 Elektrotechnický průmysl

Druhým v počtu nasazovaných robotických jednotek je elektrotechnický průmysl. Tento průmysl klade důraz na vysokou přesnost práce, rychlost a čistotu provozu. Právě proto v elektrotechnickém průmyslu najdeme průmyslové roboty zaměřené na nejrůznější procesy, jako jsou: [24], [25], [11]

- montážní roboty
- roboty určené k manipulaci s materiálem
- balící roboty
- roboty určené k testování a výstupní kontrole



Obr. 13) Robotizované pracoviště v elektříkářském průmyslu (výroba solárních panelů)
[27]

3.2.3 Kovožpracující průmysl

Tento průmysl je třetím nejvýznamnějším odvětvím průmyslu podle počtu nasazených průmyslových robotů. V kovožpracujícím průmyslu je důležité zajistit bezpečnost práce na pracovišti a celkově flexibilitu a výkonnost výroby. To je důvodem, proč se zde ve velké míře využívá automatizace a robotizace procesů. Nasazení robotů hraje významnou roli hlavně tam, kde je zhoršená kvalita prostředí (vysoká teplota, znečištění, hluk) nebo tam, kde dochází k manipulaci s díly o velké hmotnosti. Roboty se v kovožpracujícím průmyslu využívají na příklad pro: [24], [11]

- kování
- odlévání
- manipulaci s materiálem a nástroji
- výstupní kontrole kvality
- úpravu povrchů



Obr. 14) Průmyslový robot určený k lití kovu [28]

4 ČÁSTI RTP PRO SVAŘOVÁNÍ

Základním členem RTP pro svařování je svařovací robot, který je doplněn o celou řadu různých periferních zařízení. U těchto pracovišť se používají jak standartní periferní zařízení, tak zařízení specifická pro danou technologii svařování. Mezi nejdůležitější periferní zařízení patří polohovadla, která zajišťují správné polohování svařenců. Charakteristické periferní zařízení pro technologie svařování je zařízení pro čištění svařovací hubice nebo zařízení pro odsávání zplodin. [1],

4.1 Svařovací robot

V robotickém svařování se nejčastěji využívá šestiosých svařovacích robotů. Využívá se sériové kinematiky typu RRR (tři rotační kinematické dvojice). U šestiosých robotů 3 osy slouží k polohování a 3 osy slouží k orientaci. [1], [5]



Obr. 15) Šestiosý svařovací robot (FANUC ARC Mate 100iC/12) [13]

Uplatnění zde nachází také sedmiosé roboty, u kterých sedmá osa umožňuje zalomení hořáku do nepřístupných míst. Další výhodou sedmiosé kinematiky je zlepšení dosahu a rychlosti otáčení robota. [12]



Obr. 16) Sedmiosý svařovací robot (YAKASAWA VA1400) [14]

4.2 Polohovadla

Mezi hlavní části RTP pro svařování jsou polohovadla a mají zásadní význam pro jeho koncepci. Polohovadla jsou programovatelná a pohybují se synchronně se svařovacím robotem. Polohovadla můžeme dělit podle kritérií, kterými mohou být: [1], [5], [12]

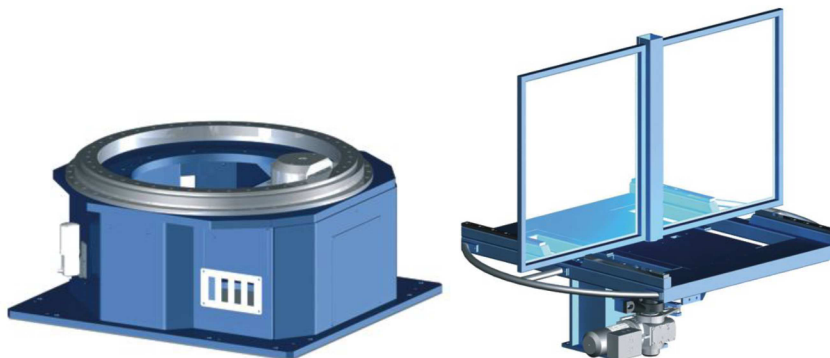
- počet os
- počet stanovišť
- nosnost polohovadla

Stanoviště je jednotlivé místo robotizovaného pracoviště. Větší počet stanovišť umožňuje práci (svařování) robotu na jednom stanovišti a nakládání/vykládání dílců obsluhou na stanovišti druhém. Tím nedochází k zbytečným prostojeům, a tak se zvyšuje produktivita.

Polohovadla mají dva hlavní úkoly: [1], [5], [12]

- orientování svarku do optimální polohy v prostoru
- zajistit co nejpřesněji definovanou polohu svarku vůči svařovacímu robotu

4.2.1 Otočné stoly



Obr. 17) Otočné stoly [12]

4.2.2 Horizontální jednoosá polohovadla



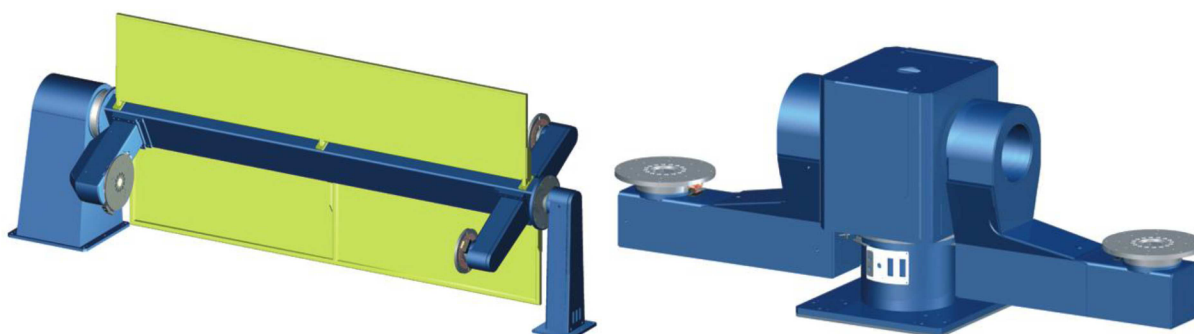
Obr. 18) Horizontální jednoosá polohovadla [12], [15]

4.2.3 Dvouosá polohovadla

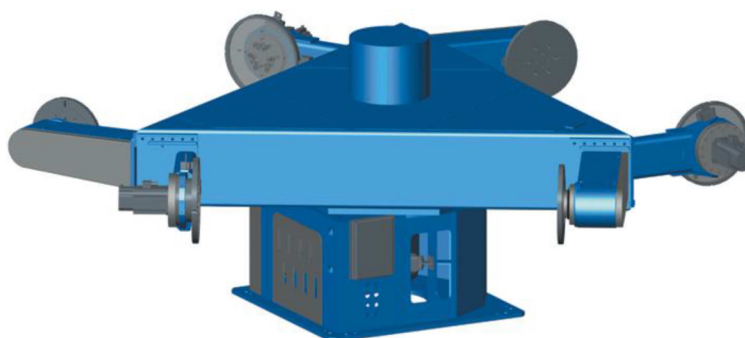


Obr. 19) Dvouosá polohovadla [12]

4.2.4 Polohovadla s více stanovišti



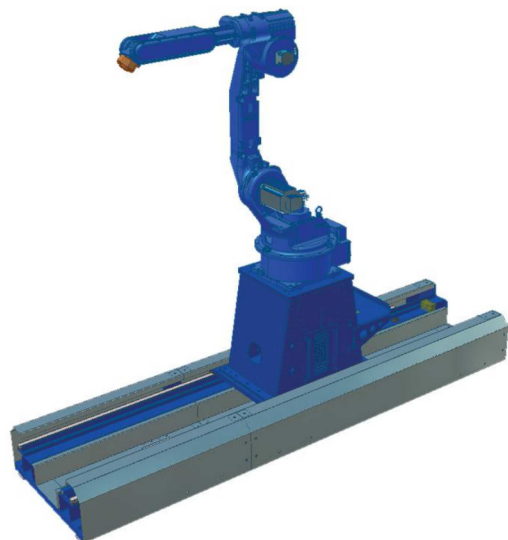
Obr. 20) Polohovadla se dvěma stanovišti



Obr. 21) Polohovadlo se třemi stanovišti

4.3 Pojezdové dráhy

Závěsné portály a pojezdové dráhy jsou vhodné při svařování svařenců větších rozměrů. Jejich hlavní výhodou je zlepšení a zvětšení dosahu svařovacího robotu. Na pojezdové dráze může fungovat i více robotů současně. Pohyb po dráze je synchronizovaný s pohybem robota.



Obr. 22) Jednoduchá pojezdová dráha [12]



Obr. 23) Pojezdová dráha se závěsným robotem [12]



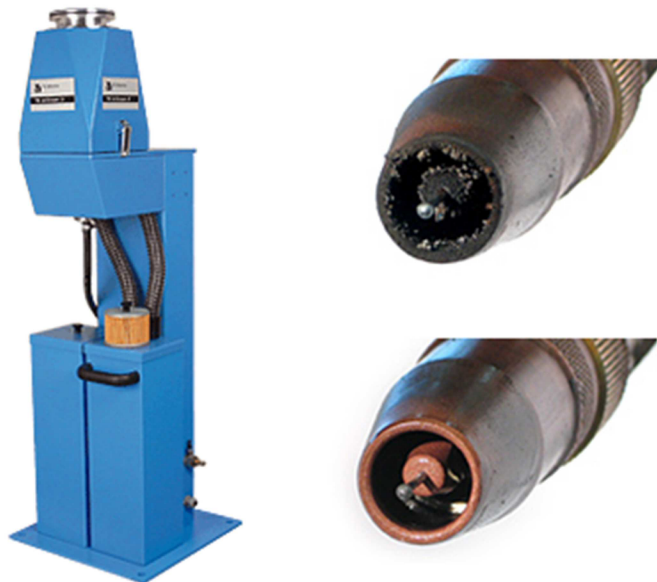
Obr. 24) Víceosá pojezdová dráha se závěsným robotem [12]

4.4 Zařízení pro čištění svařovací hubice

Hubice se může zanášet rozstříkáním roztaveného materiálu. To může negativně působit na kvalitu svaru. Právě proto se využívají čističky svařovacích hubic. Čištění může probíhat automaticky nebo mechanicky. Zařízení by mělo mít univerzální použití na různé typy hlavice, které se na daném pracovišti užívají. Dalším požadavkem je, aby čištění proběhlo v co nejkratším čase.

Součástí zařízení bývá zastříhovač drátu a zařízení pro rozstřík separační kapaliny. Separální kapalina má za úkol zpomalit zanesení hubice.

U automatické čističky svařovacích hubic JetStream (viz obr. 18) je hlava uzavřena v čistící komoře. Poté je hubice čištěna drobným granulátem, jenž tryská do vnitřních prostor hubice. Poloha a úhel čistící trysky lze nastavovat tak, aby se čistič přizpůsobil různým konstrukcím hořáku. Na závěr je hubice ostříknuta separační kapalinou, která zabraňuje zanesení svařovací hubice. [1], [12], [18]



Obr. 25) Automatická čistička JetStream, svařovací hubice před a po vyčištění [18]

4.5 Odsávací zařízení

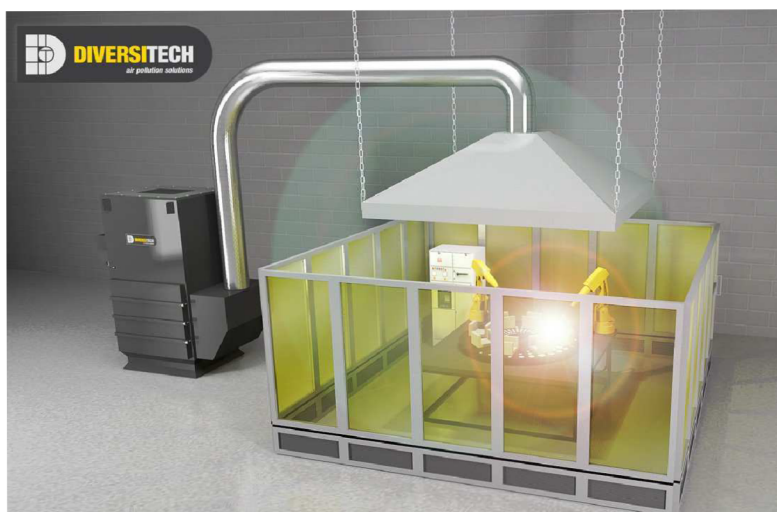
Nezbytným periferním zařízením RTP pro svařování je odsávací zařízení. Jedná se o zařízení, které zajišťuje bezpečnost a hygienu práce. To má za úkol při svařování obloukem odsávat zplodiny vzniklé hořením oblouku. [1]

Odsávací zařízení dělíme podle charakteru:

- odsávání integrované do svařovací hubice
- místní odsávání do pracovního prostoru (dochází k filtraci zplodin)
- místní odsávání do centrální odsávací sítě
- odvětrání haly

U odsávacího zařízení požadujeme, aby jeho účinnost byla vysoká. Nesmí však docházet k narušení vhodných podmínek pro svařování (např. k narušení ochranné atmosféry). Zařízení dále nesmí překážet při manipulaci s dílci a bránit přístupu hořáku.

Při navrhování se klade důraz zejména na vytvoření kvalitního pracovního prostředí a úsporu tepelné a elektrické energie. Úsporu elektrické energie lze zajistit tím, že odsávání se automaticky zapne až při zapálení oblouku.



Obr. 26) Odsávací zařízení od firmy DIVERSITECH [16]

Odsávací zařízení na obr. 18 od americké firmy DIVERSITECH slouží k odstranění plynů a výparů vzniklých při svařování technologiemi MIG a TIG. Jedná se o místní odsávání s následnou filtrací nasátého vzduchu přes polyesterové filtry. Přefiltrovaný vzduch je poté vypouštěn zpět do pracovního prostředí. [16]

4.6 Bezpečnostní spojka

Svařovací robot je vybaven bezpečnostní spojkou (označována také jako: „šok senzor“), která v případě kolize efektoru s okolím vypne pohon a zastaví činnost robotu, čímž zabrání poškození technologického efektoru. Často je řešena elektrickým nebo pneumatickým snímačem. [1]



Obr. 27) Bezpečnostní spojka („šok senzor“) [17]

Citlivost spojky nebo rázového senzoru lze kalibrovat tak, aby vyhovovala hmotnosti setrvačnosti robotické svařecí pistole. Tím se předchází nechtěným zastavení robotu během jeho činnosti. Funkce spojky se dělí na mechanickou a elektrickou část. Spojka nejprve rozpozná fyzický dopad hořáku a poté vysílá elektrický signál do řídicí jednotky, která činnost robotu přeruší. [17]

4.7 Podávací zařízení svařovacího drátu

Zařízení s vlastním regulačním elektromotorem, které zajišťuje podávání drátu skrz bowden do hubice. Drát je rovnán systémem kladek, přes které prochází. Rychlost podávání drátu může ovlivnit kvalitu svaru, proto musí být rychlost podávání programovatelná. Mezi hlavní požadavky na toto zařízení patří minimální rozměry, hmotnost a minimální ztráty třením. [1]



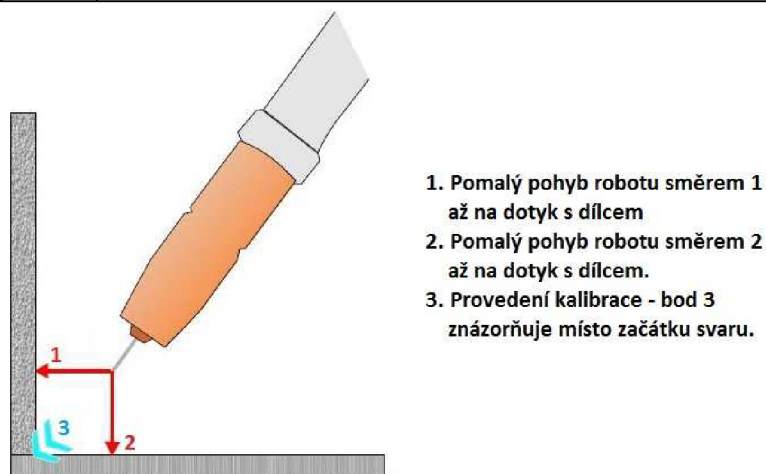
Obr. 28) Podávací zařízení svařovacího drátu [19]

4.8 Vyhledávání místa svaru

Při robotickém svařování je kladen důraz na dodržení stejných rozměrových tolerancí u svařovaných dílců. Při robotickém svařování, kde je požadovaná větší přesnost, je nutné vybavit robota funkcemi pro aktivní navádění. Obecně ale platí, že pokud je možnost zpřesnit výrobu polotovarů, tak je to vhodnější řešení, než je navádění robotu. [12]

4.8.1 Vyhledávání startovací pozice dotykem

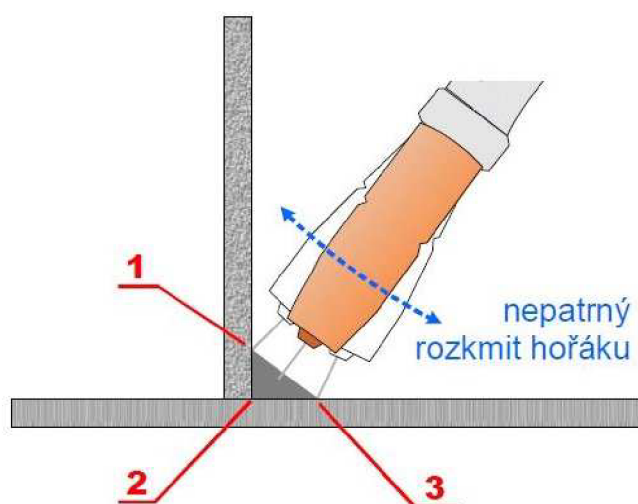
Při použití svařovací metody MIG/MAG může být robot vybaven vyhledáváním startovací pozice dotykem svařovacího drátu, čímž provede kalibraci před spuštěním svařovacího programu (viz obr. 29). Tohoto vyhledávání se úspěšně využívá při robotickém svařování koutových svarů. [12]



Obr. 29) Postup vyhledávání startovací pozice u koutového sváru [12]

4.8.2 Vyhledávání svarů v průběhu svařování

Pomocí malého rozkmitu hořáku lze v průběhu svařování sledovat tři body, podle kterých je možné provést automatickou korekci robota. Tato funkce umožňuje měřit odchylky svařovacího proudu ve třech bodech (viz obr. 30), na základě kterých dochází ke korekci svařovacího programu. [12]



Obr. 30) Vyhledávání svarů v průběhu svařování [12]

5 RTP PRO TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

Vlivem požadavků na rozvoj mechanizace a automatizace výroby našly své uplatnění i RTP pro svařování. V současné době se technologie svařování široce průmyslově využívá. To má za následek, že RTP pro svařování patří mezi nejpočetnější typ navrhovaných a realizovaných pracovišť. Cílem těchto pracovišť je nahrazení pracovníka automatem, a to zejména tam, kde se jedná o monotónní a těžkou práci nebo kde je práce znemožněna např. škodlivým prostředím. [1], [5], [12]

5.1 Výhody robotizovaného pracoviště

- Zvýšení postupové rychlosti – robot je velice přesné zařízení, které umožňuje zvýšit svařovací parametry, a tím docílit vyšší postupové rychlosti. Postupovou rychlost je možné zvýšit až o 30% oproti konvenčnímu svařování.
- Zlepšení poměru času manipulace vůči času hoření oblouku – běžně se ve firmách u svářečů tento poměr pohybuje okolo 85:15. U robotizovaných pracovišť se tento poměr může dostat až 20:80. Tento poměr je ale možno docílit pouze u RTP vybaveného polohovadlem s dvěma a více pracovišti.
- Úspory nákladů – při dobře organizované výrobě (snížení prostojů na minimum) průměrně jedno robotizované pracoviště dokáže nahradit přibližně 4-6 svářečů.
- Opakovaná kvalita svarů – robot je schopen dílce svařit s opakovanou kvalitou, toho se využívá zejména v automobilovém průmyslu, stavebním průmyslu nebo nábytkářském průmyslu, kde svary musí splňovat předepsané zkoušky kvality.
- Pracovní prostředí - využití v prostředí nepřístupném pro člověka. [12], [1], [3]

5.2 Úskalí robotizovaného pracoviště

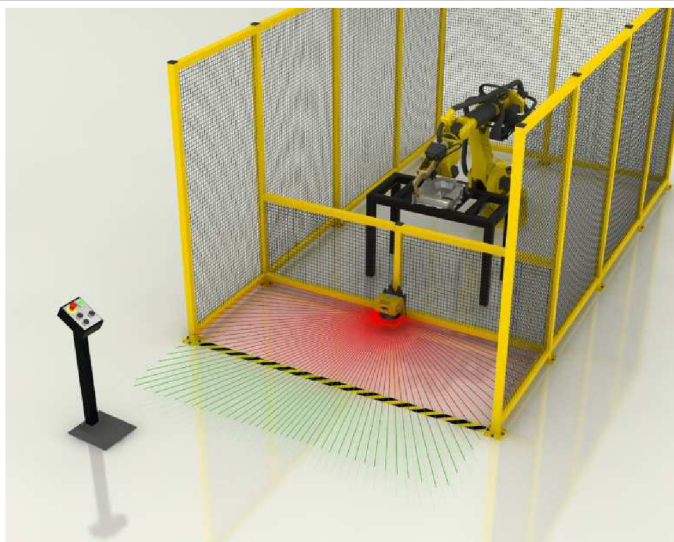
- Špatná volba RTP – volba špatného modelu robotizovaného pracoviště při pořízení může vést k nefunkčnosti nebo pouze částečnému využití pracoviště.
- Příprava dílců pro svařování – příprava dílců před svařením musí být vyhovující z hlediska opakované rozměrové tolerance. Při nepřesné poloze dílců vznikají vady ve svarech, tedy vznik zmetků ve výrobě. To lze řešit aktivním naváděním robota (*viz kapitola 4.8*)
- Dodržení bezpečnosti práce na pracovišti – pracoviště musí splňovat základní bezpečnostní požadavky (*viz kapitola 5.3*).
- Lidské zdroje – správný chod robotizovaného pracoviště závisí také na šikovnosti programátora, který je schopen správně řešit vzniklé problémy. [12]

5.3 Bezpečnost práce na robotizovaném pracovišti

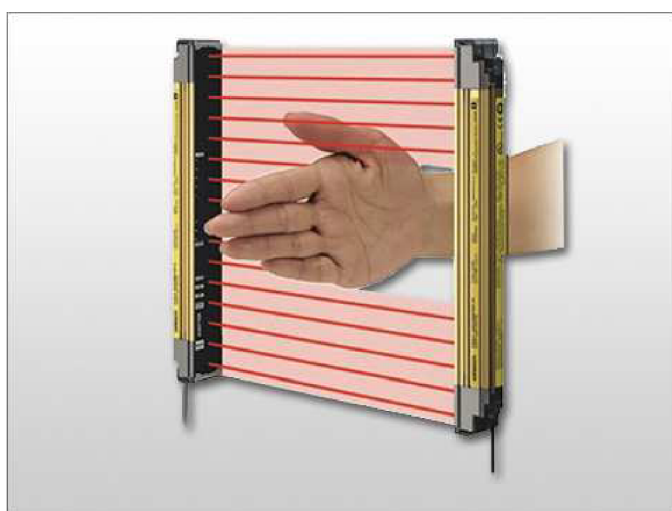
Zajištění bezpečné práce na pracovišti je klíčovou částí při navržení RTP, proto jsou pracoviště vybavována jak pasivními bezpečnostními prvky, tak elektronickými systémy zajišťující bezpečnost jako jsou například laserové skenery, světelné mříže, světelné závory, bezpečnostní senzory atd.

Mezi nejzákladnější podmínky, které musí splňovat každé RTP nejen pro technologii svařování patří:

- Obsluha nesmí přijít do styku s pohybujícím robotem nebo polohovadlem.
- Kompletní zajištění prostoru před polohovadly tak, aby nebylo možné uvést pracoviště do chodu, pokud se nachází osoba právě v prostoru před polohovadly.
- Pracoviště nemůže oslňovat obsluhu a dílnu svařovacím obloukem.
- Vybavení panelu obsluhy tlačítkem STOP, které okamžitě ukončí činnost robota.
- Optické závory musí být umístěny ve vzdálenosti podle platné normy. [12], [1], [5]



Obr. 31) Plocha chráněná bezpečnostním skenerem [20]



Obr. 32) Bezpečnostní optická mříž [21]

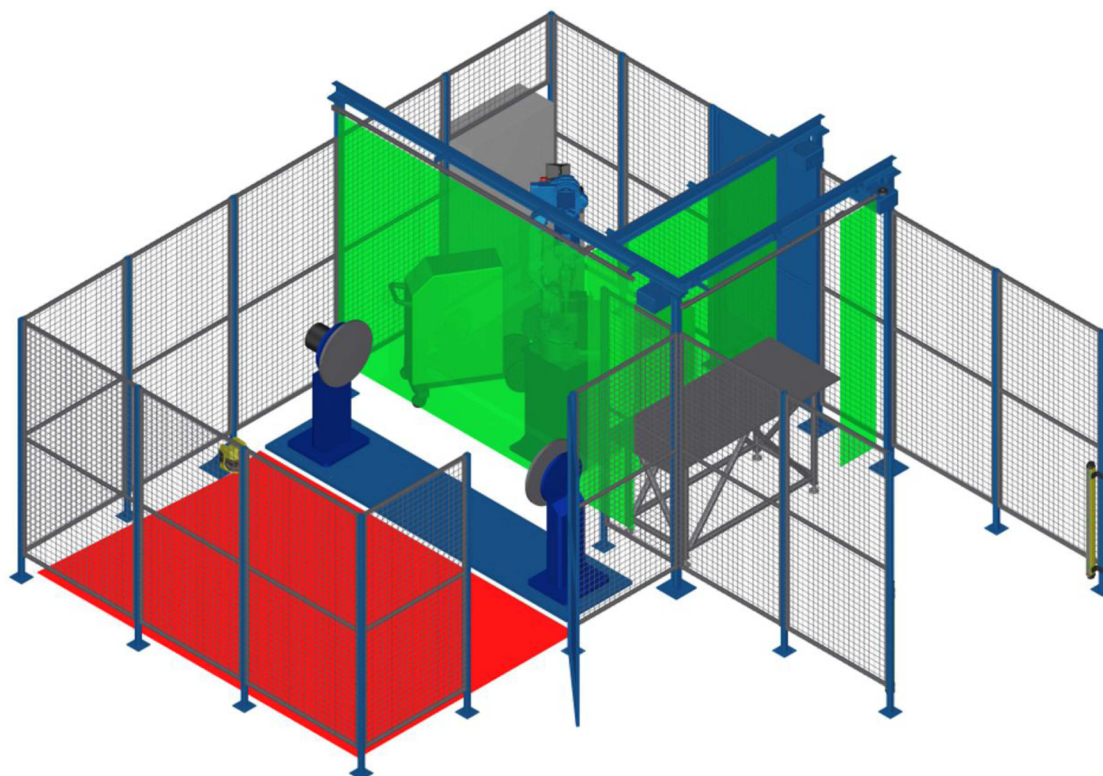
5.4 Vzorová robotizovaná pracoviště pro technologie svařování

RTP lze popsat jako účelové seskupení periferních zařízení, manipulátorů a průmyslových robotů, které mají za úkol v automatizovaných cyklech provádět různé manipulační a technologické operace.

Firmy dnes nabízejí zákazníkům typizované kompaktní buňky, které odpovídají požadavkům zákazníka. Taková buňka obsahuje ozkoušené a navzájem sladěné komponenty pro správný chod pracoviště. Buňky namontované na základním rámu lze snadno přepravovat na nákladních automobilech. Poté jsou jednoduchou montáží uvedeny do chodu. Montáž se většinou skládá pouze z jednoduchých úkonů, jako je připojení elektřiny, ochranného plynu, tlakového vzduchu.

Základním parametrem pro výběr vhodného robotizovaného pracoviště je určení, zda má pořizované pracoviště být pro velkosériovou, nebo malosériovou výrobu. [1], [12]

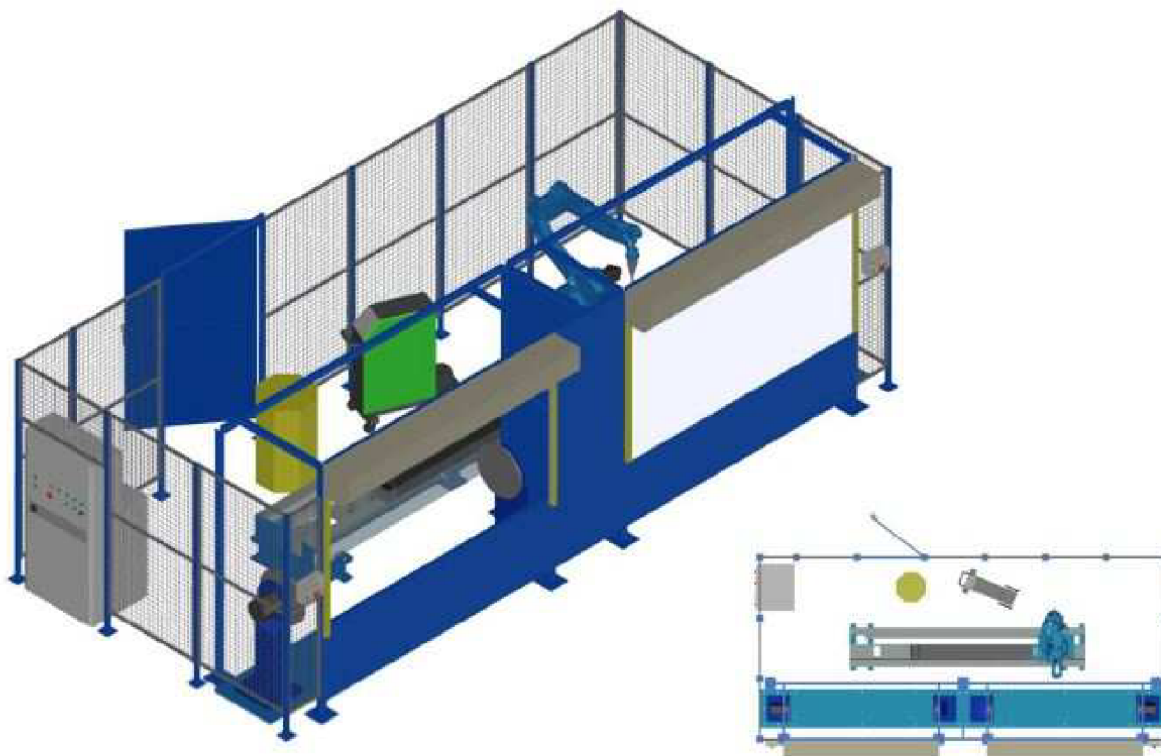
5.4.1 RTP s jedním robotem, horizontálním polohovadlem a pevným stolem



Obr. 33) Robotizované pracoviště s jedním robotem, horizontálním polohovadlem a pevným stolem [12]

Pracoviště je vybaveno jedním svařovacím robotem, a dvěma stanovišti – jednoosým horizontálním polohovadlem a pevným stolem. Toto pracoviště je vhodné pro nasazení v malosériové výrobě, kde dochází k opakované různorodé výrobě. Červená plocha vyznačuje prostor u horizontálního polohovadla chráněný bezpečnostním skenerem. [12]

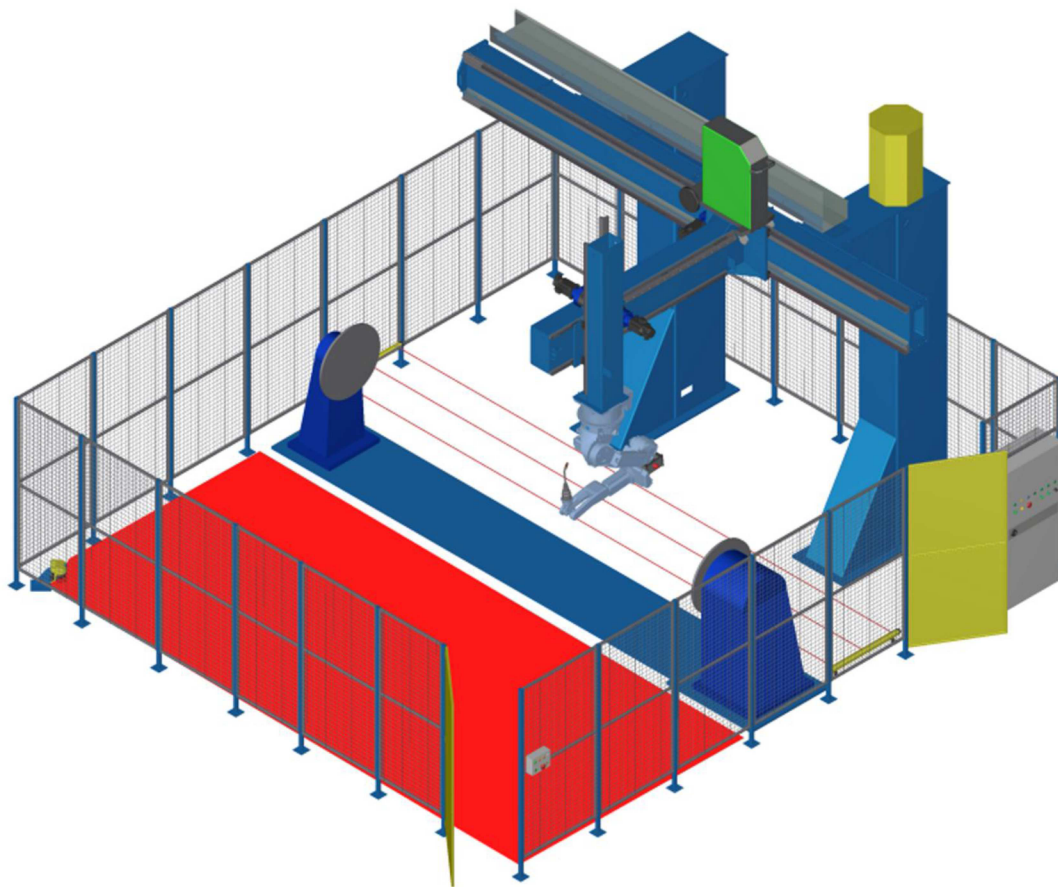
5.4.2 RTP s robotem na krátké pojezdové dráze před dvěma horizontálními polohovadly



Obr. 34) Robotizované pracoviště s robotem na krátké pojezdové dráze před dvěma jednoosými horizontálními polohovadly [12]

Jeden svařovací robot je zavěšený na krátké pojezdové dráze. Před robotem jsou umístěna dvě jednoosá horizontální polohovadla. Možnost svařovat dílce různých typů na každém polohovadle zvlášť. Pohyby polohovadel, robota a pojezdové dráhy jsou plně synchronizovány. Pracoviště je vhodné pro svařování středně velkých dílců jak v malosériové, tak velkosériové výrobě. [12]

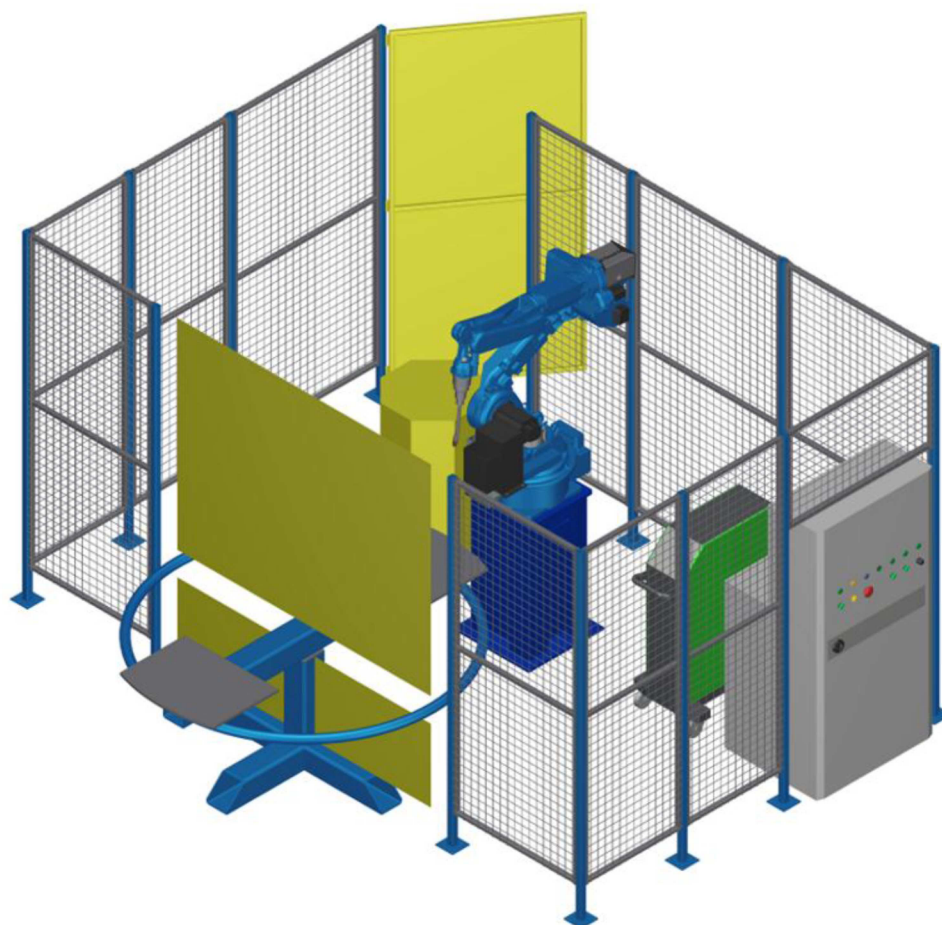
5.4.3 RTP s robotem zavěšeným na portálu nad horizontálním polohovadlem



Obr. 35) Robotizované pracoviště s robotem zavěšeným na portálu nad jednoosým horizontálním polohovadlem [12]

Svařovací robot je zavěšený na portálu s třemi osami pohybu. Pohyb robotu je plně synchronizován s pohyby portálu a s pohyby jednoosého horizontálního polohovadla. Takto složené robotizované pracoviště je vhodné pro svařování rozměrných a hmotných dílců s velkou délkou svarů. Tříosý portál umožňuje svařování i složitějších a členitých dílců. RTP je vhodné pro malosériovou výrobu. Pro využití daného řešení ve středně velké sériové výrobě je potřebné RTP doplnit o další jednoosé horizontální polohovadlo, což zaručí zefektivnění výrobního procesu. Prostor před horizontálním polohovadlem je sledovaný bezpečnostním skenerem. [12]

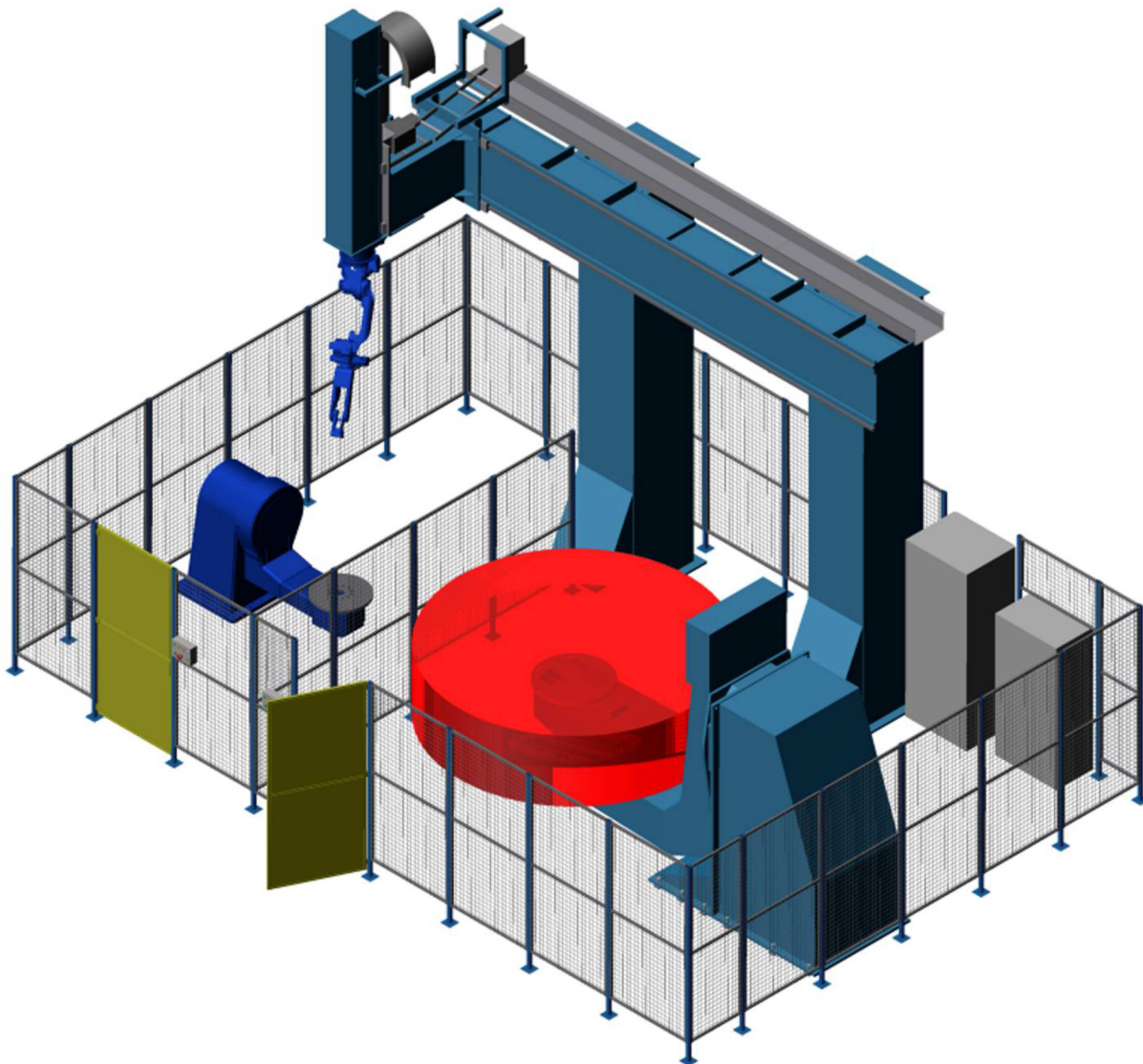
5.4.4 RTP s jedním robotem a otočným stolem s dvěma stanovišti



Obr. 36) Robotizované pracoviště s jedním robotem a otočným stolem [12]

Stanoviště vybavené jedním svařovacím robotem, který stojí před otočným stolem. Otočný stůl je vybaven dvěma stanovišti. Během práce robotu na jednom stanovišti je možné současně provádět výměnu dílců na druhém stanovišti. Tento model je vhodný pro velkosériovou výrobu a pro svařování pouze několika typů dílců. Stůl je potřeba mít vybavený na obou stanovištích stejnými upínacími prostředky. [12]

5.4.5 RTP s robotem zavěšeným na dvouosém portálu nad dvěma polohovadly



Obr. 37) Robotizované pracoviště s robotem zavěšeným na dvouosém portálu nad dvěma dvouosými polohovadly [12]

Pracoviště je vybaveno jedním dvouosým polohovadlem s menší nosností a jedním dvouosým polohovadlem s větší nosností. Mezi polohovadly se pohybuje robot zavěšený na dvouosém portálu. Pohyby dvojice polohovadel, portálu i robotu jsou synchronizovány. Toto pracoviště je vhodné pro svařování členitých dílců o velké i malé hmotnosti. Určeno pro středně sériovou výrobu. [12]

5.5 Úspěšná aplikace RTP pro svařování – svařování podvozku vagónů

Montáž robotizovaného pracoviště prováděla firma Hadyna – International, spol. s.r.o. pro firmu ON-TRACK s.r.o., Přerov. Na robotizovaném pracovišti jsou svařovány rámy železničních vagónů metodou MIG/MAG. Celé pracoviště je tedy navrženo pro svařování velkých dílců.



Obr. 38) Hotové a připravené pracoviště [23]

RTP je sestaveno ze dvou svařovacích robotů upevněných na podstavcích, kdy každý je vybaven vlastní čističkou hořáku. Oba roboti jsou vybaveny funkcí pro aktivní vyhledávání startovací pozice svárů a vyhledávání správného místa svařování v průběhu hoření svařovacího oblouku.

Polohování dílců obstarává dvojice horizontálních polohovadel s nosností 3 t. Rozteč mezi lícními deskami je 5 m. Protočný průměr je 2,8 m.

Odsávání zplodin je realizováno digestoří, která automaticky přejíždí nad polohovadlo, kde roboti svařují. V mezičase na polohovadle, kde roboti nepracují, dochází k manipulaci dílců pomocí jeřábu. [23]

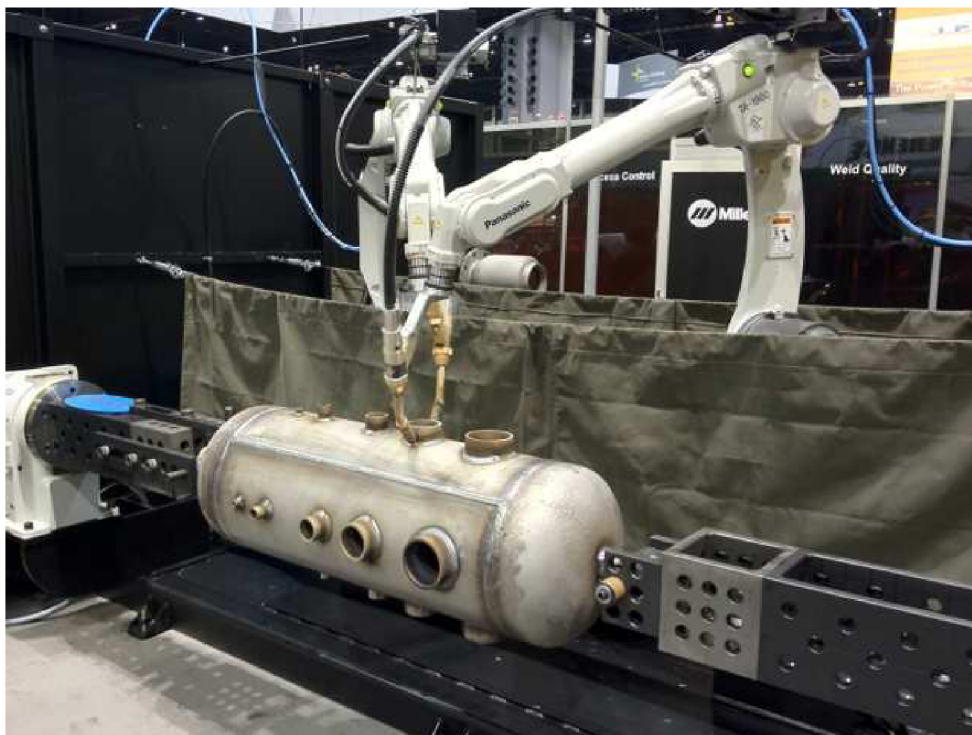
5.6 Dílce vhodné pro robotické svařování

Dílce vhodné pro obloukové svařování na robotizovaném pracovišti najdeme v mnoha odvětvích průmyslu. Vhodné je využití robotů u malých výrobků ve velkosériové výrobě. Hmotnost objektů určených k svaření se ale může pohybovat ve velkých rozměrových i hmotnostních rozmezích. Objekty pro robotizované svařování elektrickým obloukem by měly splňovat tyto požadavky:

- dobrá přístupnost svařovaných spojů
- čistota povrchu
- malé rozdíly rozměrů mezi svařovanými objekty
- svary dostupné v důsledku maximálního dosahu robota
- určení referenčního místa objektu

Na robotizovaných pracovištích se svařují například:

- tlakové nádoby (*obr. 39*)
- kancelářské židle (*obr. 40*)
- nosníky jeřábů (*obr. 41*)
- součásti stavebních strojů (*obr. 42*)
- díly výfukových potrubí automobilů (*obr. 43*) [12], [1], [34]



Obr. 39) Svařování tlakové nádoby [29]



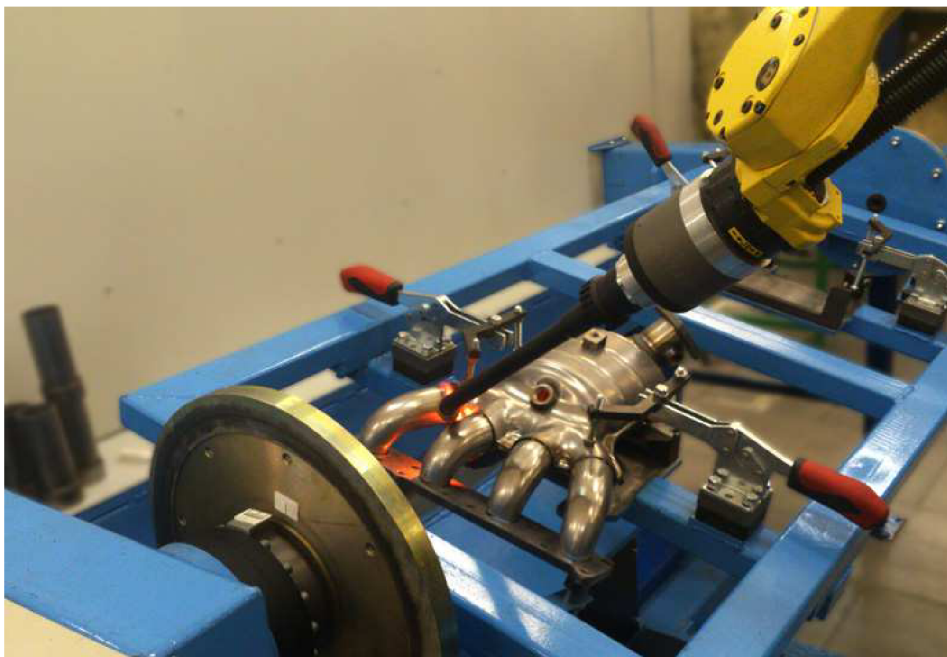
Obr. 40) Robotizované pracoviště pro svařování rámu židlí [30]



Obr. 41) Svařování nosníku jeřábu [31]



Obr. 42) Svařování lžice bagru [32]



Obr. 43) Svařování výfukových svodů [33]

6 ZÁVĚR

Automatizace a robotizace je sama o sobě rozsáhlou záležitostí, která pronikla téměř do všech odvětví průmyslu. V dnešní době se zdárně daří automatizovat nejrůznější technologické procesy, tím se posouvá výkonnost výrobních linek.

Tato práce je však primárně zaměřena na robotizaci technologických procesů svařování. Jejím hlavním cílem je sestavení přehledu vzorových typů robotizovaných pracovišť pro svařování elektrickým obloukem.

Na začátku práce, tedy první a druhé kapitole, se věnuji rozdělení a popisu průmyslových robotů a manipulátorů, dále pak kinematice polohovacího ústrojí a nastínění základních kinematických řetězců s jejich pracovními prostory. V úvodu se také věnuji senzorce průmyslových robotů, která je jistě velmi důležitou částí pro správnou funkci.

Následující kapitola zachycuje aktuální nasazování průmyslových robotů. V první části vycházím z výroční zprávy zveřejněnou IFR (International Federation of Robotics) pro rok 2017. Z ní vychází, že zemí s největším stupněm robotizace na Evropském kontinentu nadále zůstává Německo. Dle mého názoru tomu tak bude i v následujících letech. Důvodem je, že Německo je zemí, kde sídlí mnoho světově známých automobilek a právě automobilový průmysl je nejvýznamnějším průmyslovým odvětvím v ohledu na automatizaci a robotizaci výroby. V druhé části kapitoly jsem uvedl použití robotů ve třech průmyslových odvětvích, které jsou z pohledu množství nasazovaných robotických jednotek nejvýznamnější. Jedná se tedy o automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl a průmysl kovozpracujících.

Čtvrtá kapitola je věnována uvedení popisu a požadavků na jednotlivé části robotizovaného pracoviště pro technologie svařování. Hlavní zajímavostí je aktivní navádění svařovací hubice při svařování metodou MIG/MAG nebo vyhledávání startovací pozice dotykem svařovacího drátu. Dovybavení svařovacího robotu tímto zařízením, může být i přes svoje pořizovací náklady vhodným řešením při velké zmetkovitosti výroby.

Posledním úkolem bylo uvedení vzorových robotizovaných pracovišť a uvedení jejich úspěšně aplikace v praxi. Zde jsem uvedl několik příkladů modelů robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování, které jsou v současné době nabízeny na trhu. Jako příklad úspěšné aplikace robotizovaného pracoviště jsem si vybral pracoviště pro svařování rámců vagónů. Pracoviště bylo instalované od stejné firmy, jako jsou uvedená všechna vzorová pracoviště v této práci. Ke konci kapitoly jsem se zaměřil na dílce vhodné pro robotizované svařování a uvedení jejich příkladů.

Při pořizování pracoviště pro robotizované svařování je důležité, aby zákazník měl jasnou představu o tom, na co pracoviště v budoucnu bude chtít využívat. Zákazník s dodavatelem by po vzájemné domluvě měli najít vhodné řešení takového pracoviště, protože ne vždy je ta dražší možnost ta správná. Špatná volba pracoviště může vést k velmi špatné funkčnosti pracoviště a velkým finančním ztrátám firmy. Dnes jsou pracoviště cenově dostupná i pro menší firmy a podniky.

Využití automatizace a robotizace výroby v budoucnosti osobně vidím kladně. Je zřejmé, že její vývoj zvýší výkonnost a flexibilitu výrobních procesů. To povede k značnému zjednodušení těžké práce a práce v těžkých podmínkách. Na druhou stranu se bude zvyšovat požadavek na dovednosti obsluhy, programátorů a seřizovačů.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk a Pavel BĚLOHOUBEK. *Průmyslové roboty IV*. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0532-5.
- [3] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty I : Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1993. 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [4] Tool manipulators for Machining Centres. *VÚTS Liberec* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.vuts.cz/tool-manipulators-for-machining-centers.html>
- [5] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [6] Integrated Humanoid Platforms - the ARMAR Family. *High Performance Humanoid Technologies*[online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://h2t.anthropomatik.kit.edu/english/397.php>
- [7] Un robot contrôlé à 400 km de la Terre depuis la station spatiale internationale. *Humanoides* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://humanoides.fr/controler-robot-depuis-station-spatiale-internationale/>
- [8] Robotic exoskeletons give dock workers superhuman lifting abilities. *Engadget* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2014/08/04/daewoo-robotic-exoskeletons/>
- [9] OM1320 Universal Manipulator. *Reid Ashman* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.reidashman.com/manipulator/om1320/>
- [10] ESA Astronaut Controls Ground Robot From ISS. *Parabolic Arc* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.parabolicarc.com/2015/09/09/esa-robotics-test/>
- [11] Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots. *IFR* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf
- [12] Katalog - robotizace svařování. *Hadyna* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.hadyna.cz/download/katalog-robotizace-svarovani/>
- [13] ARC Mate 100iC/12. *Fanuc* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/arc-welding/arcmate-100ic-12>
- [14] ARTICULATED ROBOT / 7-AXIS / ARC WELDING / CEILING-MOUNT. *Direct Industry* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/motoman/product-18302-566543.html>
- [15] SINGLE-AXIS POSITIONER / MOTORIZED / ROTARY. *Direct Industry* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/kuka-ag/product-17587-1938933.html>
- [16] Tool manipulators for Machining Centres. *Diversitech* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.diversitech.ca/en/applications/welding>

- [17] ROBOTICS INDUSTRY INSIGHTS. *Robotic Industries Association* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Don-t-be-Marginalized-Learn-How-Peripherals-can-Maximize-your-Robotic-Welding-Performance/content_id/1669
- [18] Automatic Torch Cleaning Station. *TBi Industries* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.tbi-jetstream.de/english/JetStream_einsatzgebiete2.html
- [19] Automation Wire Feeders. *The Lincoln Electric Company* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.lincolnelectric.com/en-sg/equipment/robotic-automation/products-and-systems/Pages/automation-wire-feeders.aspx>
- [20] Safeguarding a Single-Station Robot Weld Cell. *Banner Engineering Corp.* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/us/en/solutions/machine-guarding/safeguarding-a-single-station-robot-weld-cell.html>
- [21] Omron STI's New F3SJ Safety Light Curtains. *Design World* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/omron-stis-new-f3sj-safety-light-curtains/>
- [22] Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots. *International Federation of Robotics* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf
- [23] Svařování podvozků vagonů. *Hadyna* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.hadyna.cz/reference/robotizovane-pracoviste/svarovani-podvozku-vagonu/>
- [24] Průmyslové a servisní roboty dobývají svět. *Automa – časopis pro automatizační techniku* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://automa.cz/SiteContent.aspx?params=L1NpdGVDb250ZW50LmFzcHg%2fcmlkPTcwMTg5JmFwcD1NYWluJmdycD1Db250ZW50Jm1vZD1NYWdhemluZXMmc3RhPU1hZ2F6aW51QXJ0aWNsZUNvbnRlbnRXZWImcHN0PU1hZ2F6aW51QXJ0aWNsZUNvbnRlbnRXZWImcDE9WVhcl9TVFJjTkdFRER6SHh2blVBOU4zYkx6cVVLSVU5dyUzZCUzZCwMj1OdW1iZXJfU1RSSU5HX115WXVWZzFGUDliVklESIE0c0hmMEEIM2QIM2QmcDM9T2lkX0lOVF83Njg0JnRuYW11PjNpdGVkZWZhdWx0JmFjb2RIPTI2ZWExYzYzNjAzZGZmOGZlZmZlODM2ZDk5NmQ1NmMx>
- [25] KOZUBÍK, J. *Aplikace průmyslových robotů v oblasti svařování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [26] The industrial robot: reinventing the factory. *Actemium* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.actemium.com/en/smart-industry/smart-process/the-industrial-robot-reinventing-the-factory/>
- [27] Solar Panel Manufacturing Cell. *Inventek Engineering* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.inventekengineering.com/services/solar-panel-automation/>
- [28] Automation of foundry with robot. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Automation_of_foundry_with_robot.jpg
- [29] Robots on Pressure Vessel. *FABTECH* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://fabtech2011.blogspot.com/2011/11/positioner-rotates-work-under-robotic.html>

- [30] Stainless Steel Furniture Chair Welding Machine , Industrial Robotic Welding solution. *GUANGDONG HWASHI TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.spot-weldingmachine.com/sale-9265266-stainless-steel-furniture-chair-welding-machine-industrial-robotic-welding-solution.html>
- [31] Robot Welding System For Crawler Crane. *Vishes Global Automation* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.vishesglobalautomation.com/Robot-Welding-System-For-Crawler-Crane.html>
- [32] KBWELD HD5 – 5 Axis robotic system for welding of excavator buckets. *KIBERYYS Robotic systems*[online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://kiberyys.com/robotic-systems-for-welding/automotive-welding/1-2/>
- [33] Robot Cell for Welding of Exhaust Manifold. *Nordica Sterling* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://nordicasterling.com/implemented-projects/arc-welding/welding-of-collectors.html>
- [34] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN ISBN978-80-214-2629-0.
- [35] KNOFLÍČEK, Radek. *Průmyslové roboty a manipulátory – 3. konstrukce PRaM* [přednáška]. Brno, Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství.
- [36] Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots. *International Federation of Robotics* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf
- [37] KNOFLÍČEK, Radek. *Průmyslové roboty a manipulátory – definice pojmů, základní problémy robotizace* [přednáška]. Brno, Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství.