



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ PRO OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ

VIRTUAL COMMISSIONING OF THE ROBOTIZED WORKPLACE FOR ARC WELDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Lukáš Adolt

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Ing. Lukáš Adolt**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Virtuální zprovoznění robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současná doba klade stále větší důraz na rychlé zprovoznění nových výrobních systémů. Jednou z cest jak tohoto cíle dosáhnout je využití tzv. virtuálního zprovoznění nově navrhovaného výrobního systému. Cílem práce bude virtuální zprovoznění robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování. Práce je založena na syntéze znalostí z mechaniky, elektřiny, automatizace, robotiky a programování.

Cíle diplomové práce:

Rešerše dané problematiky.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Návrh variant řešení.
Digitální zprovoznění vybrané varianty.
Vyhodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

NOF, Shimon Y. Springer handbook of automation. 1. New York: Springer, 2009. ISBN 978-354-07-8-300.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování a jeho následným virtuálním zprovozněním. Rešerše se zabývá poznatky z průmyslové robotizace a obloukového svařování, systémový rozbor je zaměřen na skladbu pracoviště a princip obloukového svařování včetně působících vlivů. V praktické části je navrženo několik variant řešení, a nejvhodnější variantu je zpracována v podobě 3D modelu. Tento model je poté simulován včetně všech procesů, je vytvořen řídicí program a provedeno virtuální zprovoznění pracoviště.

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on the design of a robotic workplace for arc welding and its subsequent virtual commissioning. The summary deals with knowledge from industrial robotics and arc welding, the system analysis is focused on the composition of the workplace and the principle of arc welding, including acting influences. In the practical part, several variants of the solution are proposed, the most suitable variant is processed in the form of a 3D model. This model is then simulated, including all processes, a control program is created, and virtual commissioning of the workplace is demonstrated.

KLÍČOVÁ SLOVA

Průmyslová robotizace, obloukové svařování, virtuální zprovoznění, simulace robotické svařování, RobotStudio

KEYWORDS

Arc welding, industrial robotics, virtual commissioning, robotic welding simulation, RobotStudio

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADOLT, Lukáš. *Virtuální zprovoznění robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129431>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za všechny rady, připomínky, trpělivost a přátelský přístup, stejně tak i za trpělivost své rodině během vytváření této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

Ve Frýdku-Místku dne 21. 5. 2021

Ing. Lukáš Adolt

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	MOTIVACE	15
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	17
3.1	Robotizace v průmyslu.....	17
3.2	Virtuální zprovoznění.....	19
3.2.1	Metody virtuálního zprovoznění.....	19
3.3	Software pro virtuální zprovoznění robotických pracovišť	22
3.3.1	Software výrobců robotických technologií	22
3.3.2	Univerzální software	24
3.4	Výběr výrobců robotických technologií pro svařování.....	26
3.5	Výběr výrobců technologií pro robotizované obloukové svařování	29
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	33
4.1	Princip a rozdělení obloukového svařování	33
4.1.1	Princip svařování metodou MIG/MAG	34
4.2	Vady vznikající při obloukovém svařování	35
4.3	Vlivy ovlivňující kvalitu procesu obloukového svařování	37
4.4	Robotizované svařování	40
4.4.1	Robotizované pracoviště pro obloukové svařování	42
4.5	Části svařovacího systému pro obloukové svařování MIG/MAG a TIG.....	43
4.5.1	Svařovací zdroj	43
4.5.2	Podavač drátu	44
4.5.3	Svařovací hořák	45
4.6	Bezpečnost robotizovaných pracovišť	46
5	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ	47
5.1	Varianta A	48
5.2	Varianta B	49
5.3	Varianta C	50
5.4	Porovnání jednotlivých variant	52
6	VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ PRACOVISTĚ	53
6.1	Tvorba 3D modelu pracoviště	53
6.1.1	Polohovadlo	53
6.1.2	Robot.....	54
6.1.3	Svařovací přípravek	54
6.1.4	Svařovací zdroj	55
6.1.5	Svařovací hořák	56
6.1.6	Podavač svařovacího drátu	56
6.1.7	Bezpečnostní zařízení	56
6.1.8	Řízení pracoviště.....	58
6.1.9	Konečný model svařovacího pracoviště	59
6.2	Definice signálů pro virtuální zprovoznění pracoviště	60
6.2.1	Polohovadlo a přípravek	60
6.2.2	Svařování	62
6.2.3	Bezpečnostní okruh.....	62
6.2.4	Ovládací panel	63

6.3	Tvorba programu.....	64
6.3.1	Popis programu	65
6.3.2	Uživatelské rozhraní	66
7	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	71
8	ZÁVĚR.....	73
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
10	SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK	83
10.1	Seznam zkratk	83
10.2	Seznam obrázků	84
10.3	Seznam tabulek	85
11	SEZNAM PŘÍLOH	87
	PŘÍLOHY	89

1 ÚVOD

V současné době zažívá průmysl rozmach, co se týká používání robotizace a automatizace. Může za to nejen nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců na trhu práce, ale také moderní trendy jako Industry 4.0. Široká škála nejrůznějších robotů, ať už pro univerzální nebo specifické použití, umožňuje nahradit velké množství nejrůznějších lidských činností při zachování nebo zlepšení rychlosti a kvality procesu. Bohužel, pravdou zůstává, že implementační proces robotizovaného pracoviště je náročný a časově zdoluhavý.

Dnešní rychlá doba si žádá minimalizaci těchto neproduktivních časů. Jednou z cest, jak toho dosáhnout, je možnost použití moderních simulačních programů, které projektantům, konstruktérům a programátorům usnadňují práci při návrhu těchto pracovišť. S rozmachem robotizovaných pracovišť jde tedy ruku v ruce i využívání SW pro virtuální zprovoznění těchto pracovišť, který usnadňuje přípravu a zkracuje čas potřebný pro předání pracoviště do užívání. Nespornou výhodou je také identifikace případných chyb v návrhu, jako jsou špatné rozmístění pracoviště či případné kolize.

Cílem této diplomové práce je návrh několika variant robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování. Rešeršní část práce se bude zabývat programy pro virtuální zprovoznění robotických pracovišť a robotikou obecně, rovněž bude nabídnut náhled do nabídky výrobců robotů a svařovacích agregátů. Další část se bude zabývat systémovým rozbořem řešené problematiky, bude obsahovat popis principu obloukového svařování a dalších částí zařízení potřebných pro provoz pracoviště. Následně bude zpracována v podobě 3D modelu nejvýhodnější varianta, která bude následně importována do programu RobotStudio od firmy ABB. Tam bude provedeno virtuální zprovoznění daného pracoviště a bude vytvořen řídicí program.

2 MOTIVACE

Hlavním důvodem pro vytvoření této práce byl a stále je můj zájem o nejrůznější robotická pracoviště v celém svém rozsahu – od ideového návrhu, přes volbu vhodné technologie, zformování myšlenek do konstrukčního provedení až do samotného zprovoznění.

Dnešní konstruktéři, projektanti a programátoři mají v mnoha ohledech práci snazší – nepřeborné množství různých programů práci nejen zrychluje a zlevňuje, ale díky možnosti simulace mají možnost ověřit správnost svého návrhu, kontinuitu všech procesů a splnění požadavků zákazníka.

Virtuální zprovoznění robotizovaných pracovišť je poměrně nový nástroj, který dává konstruktérům a programátorům velké možnosti v návrhu a přípravě pracoviště ještě před samotnou výrobou daného pracoviště, zejména co se týká výběru vhodných technologií, případně nejvhodnějšího způsobu provedení. Tento nástroj zkracuje dobu potřebnou pro zprovoznění poté, co je fyzicky připraveno pro první spuštění, umožňuje také identifikovat chyby, které vznikly během návrhu fyzické podoby pracoviště.

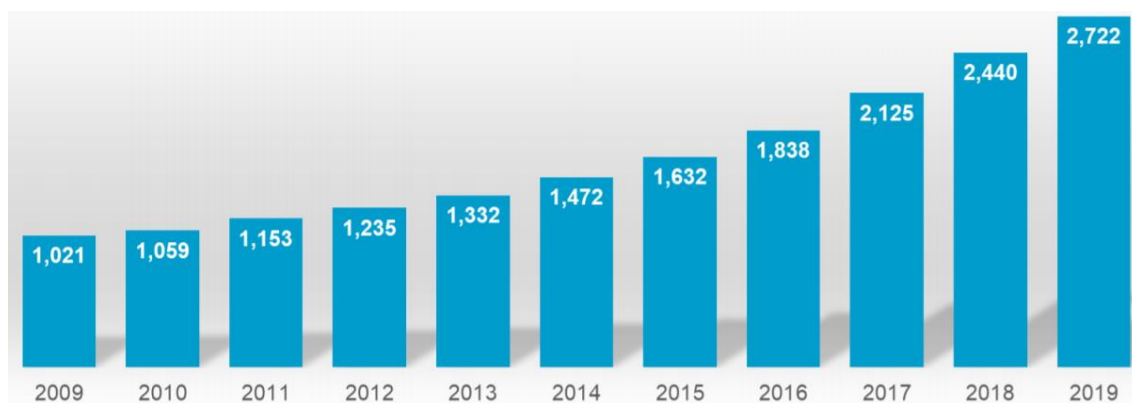
Motivací pro vytvoření této diplomové práce je vytvoření robotizovaného pracoviště a vyzkoušení si možnosti nástroje RobotStudio od firmy ABB tak, aby bylo možné odsimulovat kompletní svařovací proces. Získané poznatky bych následně rád využil ve své budoucí pracovní kariéře.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Robotizace v průmyslu

Průmyslová robotizace a automatizace obecně má svůj počátek ve 20. a 30. letech minulého století, v případě robotizace pak v 60. letech, kdy se jednalo o roboty UNIMATE s hydraulickými pohony, či v 70. letech, kdy došlo k výrobě prvního průmyslového robotu s elektrickými pohony. [1]

Robotizace nabrala největšího rozmachu během posledních deseti let, kdy se počet používaných průmyslových robotů ve světě skoro ztrojnásobil. [2]



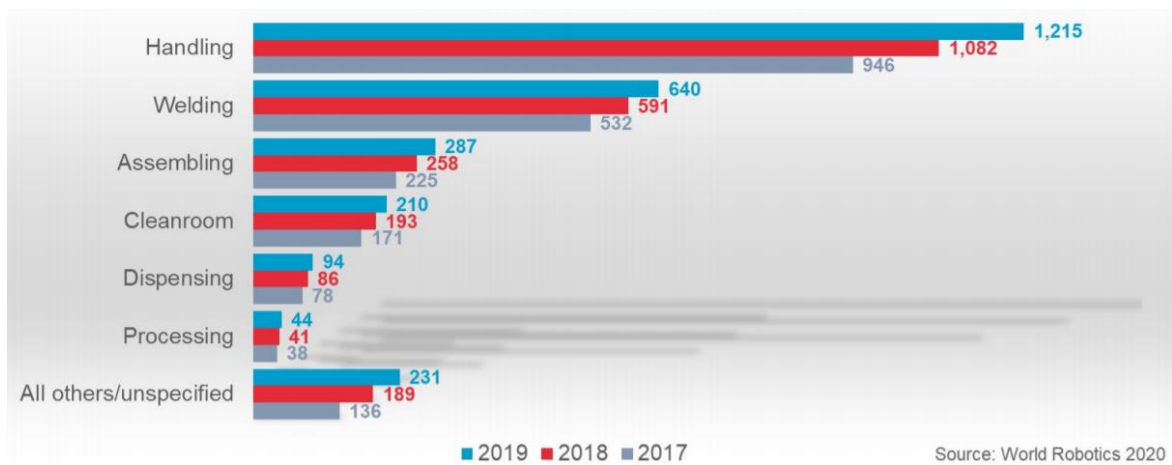
Obr. 1 Počet celosvětově instalovaných průmyslových robotů v tisících celosvětově [2]

Větší rozvoj nastal zejména po ukončení celosvětové ekonomické krize po roce 2013, která donutila velkou část strojírenských firem zaměřených především na hromadnou a sériovou výrobu hledět více na náklady a na produktivitu práce. Svůj nezanedbatelný vliv má postupné pronikání prvků Industry 4.0, které nasazení a provozování průmyslových robotů zjednodušuje a hlavně zlevňuje. Nicméně po letech růstu nastala v roce 2019 stagnace v počtu nově instalovaných robotů, která nejspíš bude pokračovat i během roku 2020, a tato stagnace má mimo jiné dva důvody – obavy z nové ekonomické krize a celosvětová pandemie koronaviru covid-19, které způsobily snížení poptávky. [2]



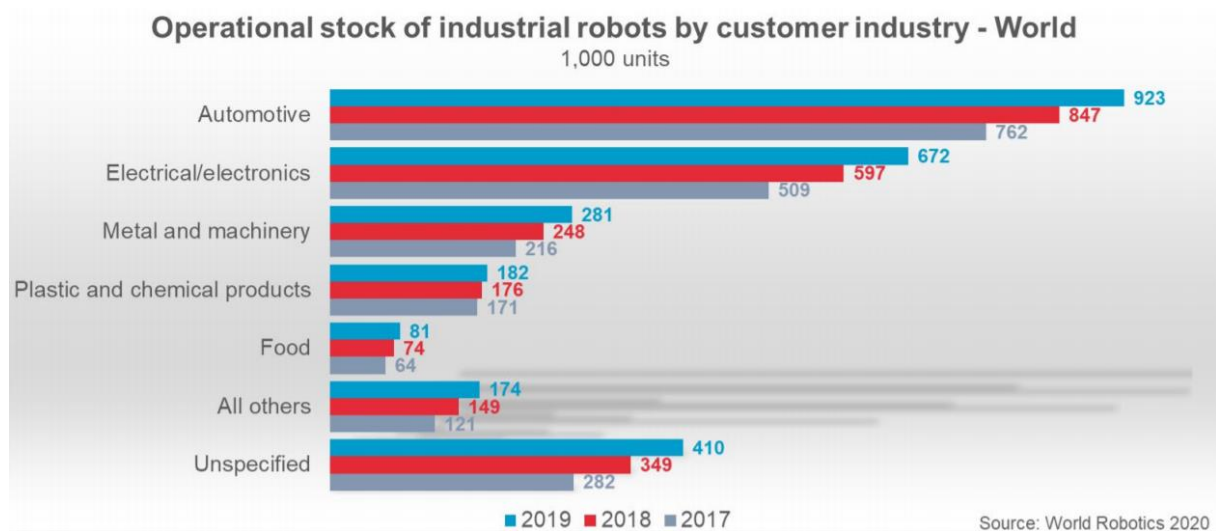
Obr. 2 Počet ročních instalací průmyslových robotů v tisících celosvětově [2]

Největší množství robotů se používá pro manipulaci s materiálem, pro svařování (obloukové, laserové, bodové atd.), dále pak pro montážní činnosti a pro farmaceutický a zdravotnický průmysl. [2]



Obr. 3 Rozložení průmyslových robotů dle zaměření v tisících celosvětově [2]

Ve využití průmyslových robotů vede automotive průmysl společně s elektrotechnickým, kde se v plné míře využívá hlavních výhod průmyslových robotů, jako jsou vysoká přesnost a opakovatelnost, velká produktivita a spolehlivost a jejich univerzálnost. [2]



Obr. 4 Rozložení průmyslových robotů v jednotlivých odvětvích v tisících celosvětově [2]

3.2 Virtuální zprovoznění

Virtuální zprovoznění průmyslových pracovišť je relativně nový nástroj, který ještě není široce využíván, nicméně tlak na zkracování dodacích lhůt, snižování nákladů a zrychlení procesu rozjezdu pracoviště k většímu využívání těchto simulačních programů zákonitě povede. Dalším impulsem pro využívání těchto programů je koncept Industry 4.0, který využívá výhod spojených s digitalizací, jako je digitální dvojče, Big Data, IoT, cloudové služby apod. [3] [4]

Tento nástroj umožňuje vytvoření virtuálního modelu pracoviště, v našem případě robotizovaného, a na tomto pracovišti je následně pomocí vstupních dat možné provést simulaci výrobního procesu, která může sloužit jako ověření správnosti návrhu pracoviště, sledu pracovních operací, ke kontrole časové potřeby jednotlivých procesů a k ověření taktu výroby. [5]

Použití virtuálního zprovoznění dle dat firmy Siemens [5] má těchto 6 výhod:

- doba nutná ke zprovoznění se zkrátí až o 70 %
- dodržení termínu dodání při vyšší kvalitě procesu
- zvýšení efektivnosti a ziskovosti zakázky
- možnost otestování funkčnosti systému na digitálním dvojčeti
- možnost předejít škodám a kolizím na reálném pracovišti
- zvýšení důvěryhodnosti ve vztahu zákazník-dodavatel

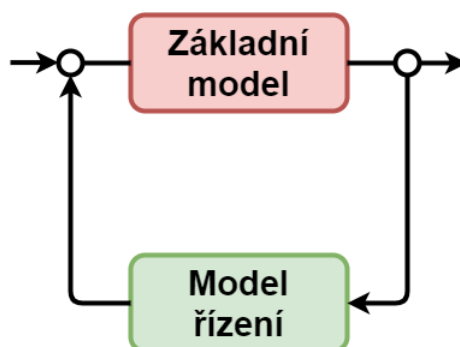
Mezi další výhody virtuálního zprovoznění lze zařadit možnost prezentace pracoviště zákazníkovi již ve fázi před samotnou výrobou fyzického pracoviště, kdy má zákazník možnost vyjádřit své připomínky a dodavatel zařízení může požadované změny implementovat ještě ve fázi vývoje výrobního zařízení.

3.2.1 Metody virtuálního zprovoznění

V dnešní době existují čtyři možné způsoby, jak provést virtuální zprovoznění. [6]

MIL – Model in the Loop

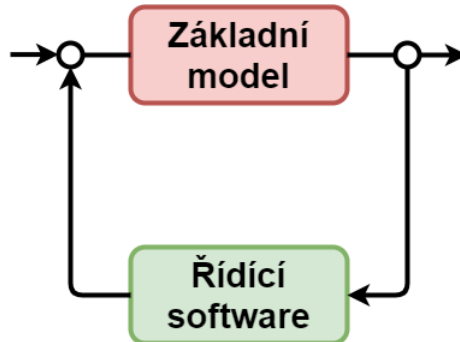
- tato metoda spočívá v simulaci matematického modelu i řídicího systému v simulačním prostředí na jednom PC
- slouží především k ověření a optimalizaci konstrukčního návrhu strojního zařízení, pro definici vstupních a výstupních signálů a k navržení struktury řízení zařízení
- model neodpovídá vlastnostem reálné soustavy a je jen její aproximací, která nezachycuje velkou část dalších vlivů (výkon řídicího HW, nelinearity apod.) [6] [7]



Obr. 5 Schéma metody MIL [8]

SIL – Software in the Loop

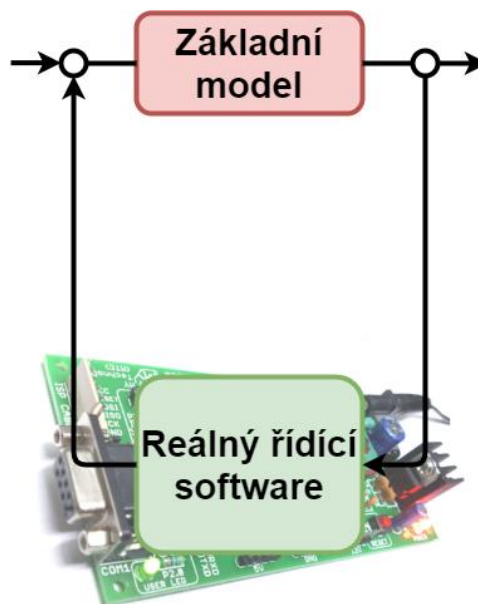
- u této metody je model zařízení simulován v reálném čase s virtuálním řídicím systémem na jednom PC
- slouží k ověření náročnosti řízení pro výběr vhodného HW [6] [7]



Obr. 6 Schéma metody SIL [8]

PIL – Processor in the Loop

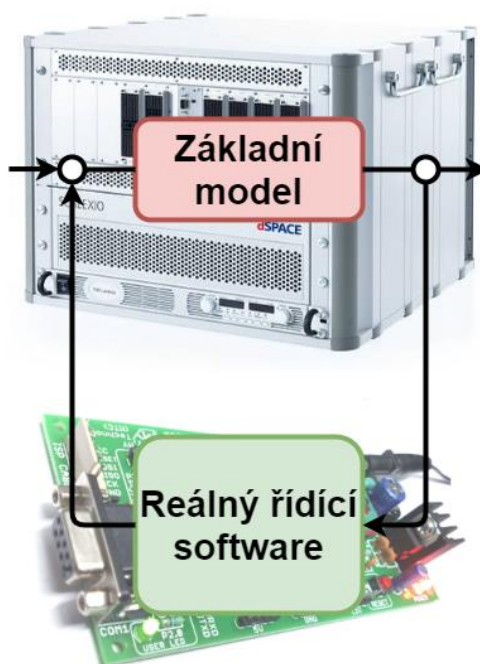
- jedná se o variantu metody SIL, kdy již není použit virtuální řídicí systém, simulace je řízena reálným řídicím systémem, který bude použit pro ovládání zařízení
- je možnost odladit program do takřka definitivní podoby
- slouží k ověření výkonu řídicího HW [6] [7]



Obr. 7 Schéma metody PIL [8]

HIL – Hardware in the Loop

- simulace probíhá na reálném řídicím systému v reálném čase, jsou použity I/O karty, čidla a další prvky
- pro testování kompletního řídicího systému
- zohledňuje reálné podmínky, přenosové rychlosti komunikačních kanálů, odezvu řídicího HW apod.
- umožňuje simulaci poruch a stavů, které si na reálném zařízení nemůžeme dovolit
- po odladění je lze program přenést do stroje, kde bude bezvadně fungovat [6] [7]



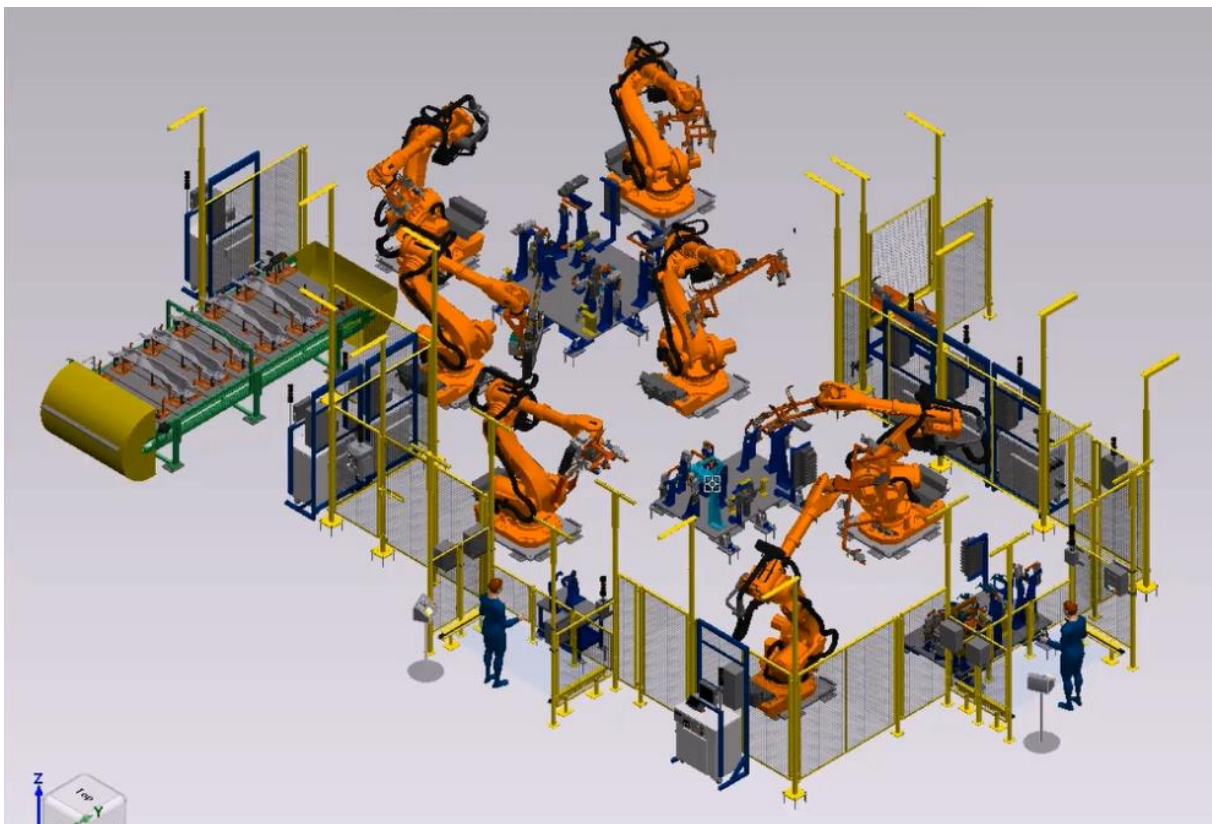
Obr. 8 Schéma metody HIL [8]

3.3 Software pro virtuální zprovoznění robotických pracovišť

Software pro virtuální zprovoznění lze rozdělit do dvou skupin – SW pocházející od výrobců robotických zařízení a na univerzální SW.

Výhodou softwaru výrobců robotů jsou přesné kopie jejich výrobků, což umožňuje přesné simulace zařízení – čas, zatížení, spotřeba energií apod., dále pak využití shodného programovacího jazyka jako u reálného robota, jejich nevýhodou je logicky jejich omezení pouze na výrobky tvůrce daného SW.

Naopak výhodou univerzálních SW je jejich všestrannost, kdy je možné pracovat s roboty různých výrobců včetně jejich dalších výrobků. Nevýhodou této univerzálnosti je například nutnost implementace řízení robota a jeho nastavení tak, aby odpovídal skutečnosti nebo nutnost převádění kódu do konkrétního robotického jazyka.



Obr. 9 Ukázka pracoviště vytvořeného v SW TECNOMATIX Process Simulate [9]

3.3.1 Software výrobců robotických technologií

KUKA.Sim (KUKA)

Oficiální software od výrobce robotů KUKA umožňuje import CAD dat z nejrůznějších programů pro 3D modelování (Catia V5, V6, STEP atd.) a samozřejmě obsahuje knihovnu se všemi aktuálně dostupnými modely robotů včetně jejich řízení. Umožňuje konfiguraci kontroly kolizí a vzdáleností, pomocí speciálního vybavení podporuje virtuální realitu a výsledné simulace je možné zobrazit pomocí aplikace Mobile Viewer i na chytrých telefonech a tabletech. Dále tento SW obsahuje i virtuální ovladač KUKA.OfficeLite pro vytváření a úpravu programy robota, které je možné přímo přenést do robota. [10]

RobotStudio® (ABB)

Software švédsko-švýcarského výrobce robotů ABB pro off-line programování, standardem je rozsáhlá knihovna robotů a polohovadel ABB včetně kontrolérů i možnost importu CAD dat či vytváření vlastních modelů pomocí funkce Mechanism Modeler. Virtuální řízení přesně odpovídá skutečnému řízení reálného robota, takže časy simulace odpovídají reálné situaci. Program obsahuje funkce Smart Components pro vytváření realistických simulací, funkce AutoPath a AutoConfiguration, které umožňují automatické generování trajektorie robota podle geometrie 3D modelu a definování konfigurace robotického ramene podél zvolené trajektorie. Funkce Jobs umožňuje u nově programovaných robotů využít již využívané funkce v rámci výrobního závodu, jako je zálohování dat, časová synchronizace, čtení informací o systému atd., funkce Visual SafeMove umožňuje nastavení bezpečnostních zón, program také umožňuje sledovat pomocí funkce Signal Analyzer data z řídicího systému (rychlost, spotřeba energie atd.). Dále je možno využívat virtuální FlexPendant, který přesně odpovídá reálnému ovladači. Samozřejmostí je záznam dané simulace a rychlé převádění dat do reálného robota na pracovišti. Jako volitelný softwarový doplněk lze pořídit moduly pro specifické činnosti – ArcWelding, Cutting, Machining, Machine Tending, Painting, Palletizing, Picking a Dispensing. [11]

RoboGuide WeldPRO (FANUC)

Oficiální simulační software od firmy FANUC pro simulace obloukového svařování, podporuje animační plánování tras, umožňuje mimo jiné simulovat připojení kabeláže k robotu, počítat spotřebu energie, obsahuje rozšíření pro koordinaci více skupin robotů nebo možnost automatického výběru ideálního místa podle typu a doby cyklu. Samozřejmostí je import dílů z jiných 3D modelačních programů a knihovna aktuálních robotů od firmy FANUC. [12]

MotoSim (Yaskawa)

Software od firmy Yaskawa pro off-line programování robota v jazyce INFORM, obsahuje virtuální kopii ovladače a kompletní modelové nabídky, umožňuje analýzu kolizí, výpočet doby cyklu, import dílů a sestav v různých CAD formátech, vizualizaci teoretického pohybu robota včetně konkrétních pohybových instrukcí a bezpečných oblastí okolo robota. [13]

K-ROSET (Kawasaki)

Off-line simulační software pro roboty firmy Kawasaki, který umožňuje plánování layoutu pracoviště, off-line programování, simulace i modelování 3D objektů včetně jejich importu v podobě CAD dat. Software podporuje přidávání externích os (například portálový pojezd), nabízí virtuální kopii ovladače, podporuje koordinaci více robotů s různými verzemi ovladačů, umožňuje zobrazení procesní trajektorie a kontrolu kolizí. Program také umožňuje práci na tabletech s operačními systémy Windows a Android. [14]

3.3.2 Univerzální software

TECNOMATIX Process Simulate (SIEMENS)

Jedná se o univerzální simulační software od firmy Siemens, který spadá pod platformu TECNOMATIX. Program Process Simulate je určen pro simulace výrobních procesů, modul Robotics je určen k off-line programování robotických pracovišť. Obsahuje standardní prvky potřebné pro vytváření programů pro robotická pracoviště jako jsou rozsáhlé knihovny robotů, kontrola kolizí, ověření dosahu, určení bezpečných zón, import CAD dat, velkou výhodou je velká univerzálnost a propojitelnost s dalšími programy z portfolia firmy Siemens, například pro simulaci řízení robotizovaného pracoviště pomocí nadřazeného PLC, nevýhodou je rozdíl mezi časováním reálné a simulované operace, avšak toto se dá z velké míry odstranit implementací kontroléru z reálného robotu. [15]

SprutCAM Robot

Univerzální ruský software pro off-line programování robotů všech možných značek (Kuka, Fanuc, ABB, Stäubli, Yaskawa, Toshiba, Nachi, Mitsubishi, Panasonic, Comau, Kawasaki atd.). Jako jiné off-line programovací a simulační programy podporuje import i vytváření 3D modelů, identifikaci kolizí, generování nativního NC kódu robotu, podporuje externí osy (otočné stoly, pojezdové dráhy). Výhodou tohoto programu je široký rozsah knihoven robotů a jejich řízení, určitou nevýhodou pak může být, že řídicí systém nemusí přesně odpovídat kopii v simulačním programu. [16]

Visual Components

Další univerzální software od finského výrobce, který využívá výhod otevřené architektury a nabízí možnost simulace celého výrobního procesu. V knihovnách proto lze nalézt spoustu modelů robotů od nejrůznějších výrobců (ABB, Comau, Denso, Fanuc, Kuka, Nachi, Panasonic, Reis, Stäubli, Yaskawa atd.), ale i spoustu dalších komponent výrobních systémů. Také je možné model robota vytvořit pomocí volně stažitelného doplňku, pokud se požadovaný typ v knihovně nenachází. Program umožňuje kontrolu manipulačního dosahu, simulaci spolupráce robotů, kontrola kolizních a dalších, potenciálně nebezpečných stavů. Programování robotů probíhá skrz RSL, který může být přímo propojen do řídicího systému robota, virtuálního rozvaděče nebo do softPLC přes rozhraní COM a RRS2. RSL může být postprocesorem převeden do nativního robotického jazyka. Pro potřeby prezentace lze také využít virtuální realitu. Opět je tu nevýhoda, že časy operací v simulaci nemusí odpovídat reálnému provedení, jelikož program neobsahuje reálné kontroléry. [17]

Delfoi ARC 4.2

Výrobek finské firmy Delfoi, který nabízí krom klasického off-line programování i specializované moduly – ARC pro obloukové a laserové svařování, který obsahuje tako modul WPS (Welding Procedure Specification), dále pak modul CUT pro řezání a obrábění, a nakonec modul PAINT pro lakování. Modul ARC umožňuje programování synchronně svařujících robotů, či možnost použít jednoho robota pro manipulaci, zatímco druhý robot daný díl svařuje, dále nabízí pokročilé nástroje pro kalibraci, podporu víceprůchodového svařování, stehového svařování a svařování v rozích. V knihovnách se nachází produkty těchto výrobců: ABB, Fanuc, Kuka, Yaskawa, Kawasaki, Panasonic, IGM, Cloos, Reis atd. [18]

RF::Suite

Tento produkt je dílem německé firmy EKS InTec GmbH nabízí možnost komplexního virtuálního zprovoznění. Jednotlivé moduly jsou zaměřené na jednotlivé prvky výrobního zařízení a na práci s nimi na úrovni projektů v modulu RF::MAX². Obsahuje virtuální obraz interface pro roboty ABB, Fanuc a KUKA (modul RF::RobotConnect), možnost propojení s reálným PLC (modul RF::PLCConnect podporuje PLC firem Allen-Bradley, Phoenix, Siemens). Mimo jiné je zde také možnost stažení a nahrání dat z TIA portálu (seznam vstupů, výstupů, HW konfigurace apod. pomocí modulu RF::TIAExporter), možnost úprav 3D modelu nebo možnost vytvoření vlastního HMI pro ovládání virtuální výrobní linky (modul RF::HMI), dále možnosti dynamické vizualizace (modul RF::YAMS), simulace (modul RF::ViPer), programování ve všech jazycích dle normy IEC 61131 a samozřejmě export programů pro PLC či robotické zařízení pro jejich nahrání do reálného řídicího systému. Dále umožňuje pomocí modulu RF::Analyser analýzu dat. [19]

WinMOD

Nástroj pro virtuální zprovoznění od firmy Mewes & Partner GmbH z německého Hennigsdorfu sice nenabízí možnosti pro virtuální zprovoznění robotizovaných svařovacích pracovišť, nicméně své využití najde v širokém spektru jiných aplikací, které se netýkají pouze robotiky. Jejich nabídka je rozdělena do tří sekcí – systémový SW WinMOD pro řízení, monitorování a simulování výrobních linek, SW WinMOD-SIMLINE pro virtuální zprovoznění výrobních linek obsahující rozsáhlé knihovny pro dopravníkové systémy (kontejnerové, paletové nebo SKID), automatizované sklad, roboty FANUC, KUKA a ABB včetně periferních zařízení, a WinMOD-CoSimulation, který se zaměřuje na propojení se simulačními programy jiných dodavatelů, jako je MATLAB® Simulink®, ABB RobotStudio, KUKA.OfficeLite, FANUC ROBOGUIDE, Siemens Process Simulate a další. [20]

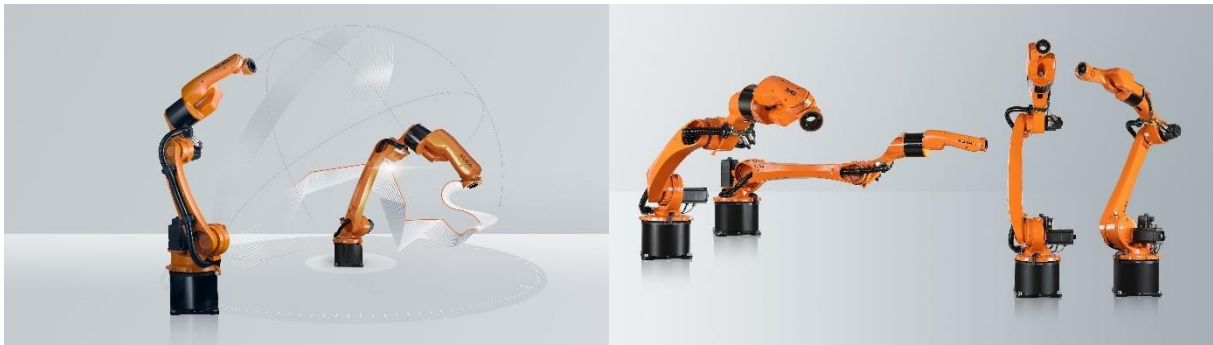
3.4 Výběr výrobců robotických technologií pro svařování

Výrobci robotů pro svařování nabízí speciálně upravené roboty vhodné pro svařování. Tyto roboty mají speciálně upravené rameno a umožňují vedení kabelového svazku skrz šestou osu, dále disponují přípravou na připojení stlačeného vzduchu a ochranného plynu nebo již ve standardu obsahují opce řídicího SW pro svařování.

KUKA

Původně německý výrobce, od roku 2017 spadající pod čínskou společnost Midea Group, nabízí roboty v řadách AGILUS, CYBERTECH, IONTEC a QUANTEC, s nosnostmi od 6 do 300 kg a dosahem 706,7 až 3901 mm. [21]

Mimo jiné také nabízí řadu lineárních pojezdů, polohovadel nebo hotových robotických buněk.



Obr. 10 Roboty KUKA KR CYBERTECH nano ARC a CYBERTECH ARC [21]

ABB

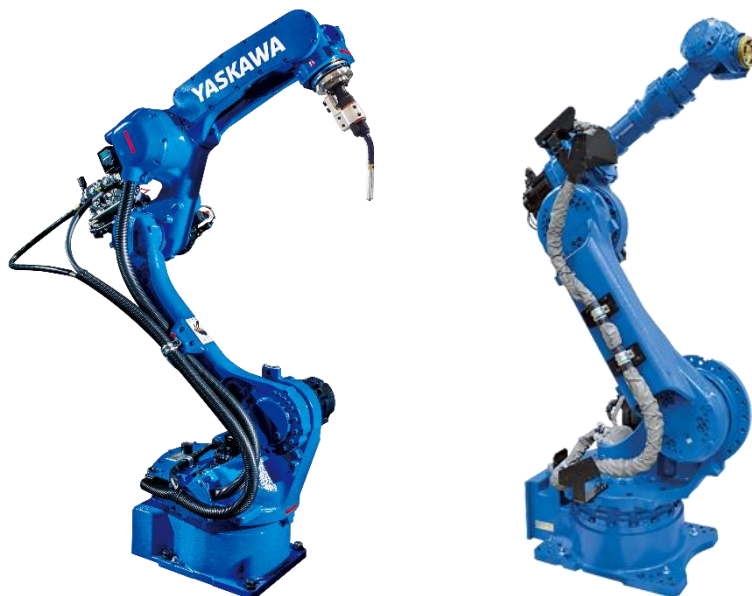
Tento největší evropský výrobce robotů ze Švédska nabízí roboty řady IRB s nosností 4-500 kg a dosahy 0,81-3,5 metru, verze IRB ID umožňují vedení kabelového svazku skrz osu robota. [22]



Obr. 11 Roboty ABB IRB 1520ID, IRB 1660ID a IRB 2600ID [22]

YASKAWA

Japonský výrobce robotů a automatizační techniky má v nabídce dvě řady robotů vhodných pro svařování, a to řadu AR (zatížení 7-25 kg, dosah 727-3124 mm) a řadu MC s užitečným zatížením 50 kg a dosahem 2038 mm, která je vhodná zejména pro laserové svařování. [23]



Obr. 12 Roboty YASKAWA řady AR a MC [23]

FANUC

Další japonský výrobce robotů, který má kromě jiného v portfoliu obráběcí stroje a řídicí systémy pro CNC. V nabídce má roboty řady M a ARC Mate s nosností 7-270 kg a dosahy v rozmezí 717 až 3123 mm. [24]



Obr. 13 Roboty FANUC řady ARC Mate [24]

PANASONIC

Japonský výrobce robotů vhodných pro svařování, nabízí několik typů v řadách TL (zatížení 6-8 kg, dosah 1801-1999 mm), TM (zatížení 4-8 kg, dosah 1163-2011 mm), TS (zatížení 8 kg, dosah 841-971 mm), HH (zatížení 20 kg, dosah 3281 mm) a LA (zatížení 26 kg, dosah 1801 mm). [25]



Obr. 14 Roboty PANASONIC řady TL/TM/TS a LA [25]

CLOSS

Německý výrobce svařovací techniky a robotů má ve své nabídce roboty řady QIROX QRH s nosností 4-15 kg a dosahy 3740 až 6100 mm. [26]



Obr. 15 Robot CLOSS QIROX QRH [26]

3.5 Výběr výrobců technologií pro robotizované obloukové svařování

FRONIUS

Rakouský výrobce svařovací techniky, techniky pro nabíjení akumulátorů a solární techniky s historií sahající až do roku 1945. Nabídka pro obloukové svařování se dělí do tří skupin – systémy PUSH, PUSH/PULL a POWERDRIVE pro jednodrátové svařování MIG/MAG, systémy CMT TWIN, LASERHYBRID a TPSI TWIN PUSH pro vysokovýkonné a tandemové svařování a řadu ARCTIG pro svařování metodou TIG. Nabízí různé funkce svařování – Standard, LSC (Low Spatter Control – systém pro odvod indukovaného proudu v hadicovém vedení), Pulse, PMC (Pulse Multi Control – vylepšený pulzní režim svařování) a CMT (Cold Metal Transfer – systém pro omezení tepelného ovlivnění svařovaného materiálu). Jedná se o ucelené systémy s vodními chladiči, podavači drátu, čističi hořáku a dalším příslušenstvím. Podavače drátu WF 60i lze použít pro roboty s dutým hřídelem (tzv. nekonečné otáčení). [27]



Obr. 16 Svařovací zdroje Fronius TPS/i [28]

LINCOLN ELECTRIC

Společnost založená v roce 1895 v Ohio v USA. Nabízí široké rozpětí svařovacích agregátů řady Power Wave, podavačů drátu AutoDrive, 4R a Power Feed, hořáků Magnum PRO (s možností chlazení vzduchem či vodou s možností použití u robotů s nekonečně otáčející se osou), čističů hořáků Power REAM a chladících agregátů Cool Wave. Výrobce nabízí možnost upevnění na různé druhy robotů značek Fanuc, Yaskawa a ABB. Nabízí také funkci pulzního svařování. [29] [30]

CLOOS

Tradiční německý výrobce svařovací techniky nabízí svařovací agregáty pro metody MIG/MAG řady QINEO, které nabízí řady režimů a funkcí pro svařování – Control Weld (svařování tenkých součástí), Cold Weld (svařování MIG/MAG s redukcí tepla), Tandem Weld (tandemové svařování), pulzní svařování atd. [31]

LORCH

Další německý výrobce svařovací techniky s historií sahající do roku 1957. V jeho nabídce lze nalézt řady S-RoboMIG XT, Robo-MicorMIG a V-RoboTIG s podavačem drátu RF-06. Řada S-RoboMIG XT nabízí funkci SEAM TRACKING, která upravuje dráhu robotu podle aktuálních vlastností svařence, signál ze svařovacího agregátu je schopen úprav drah robotu ve svislém i vodorovném směru a tato funkce je dostupná pro standardní i pulzní svařovací procesy. [32]



Obr. 17 Svařovací zdroj S5 RoboMIG XT [33]

ESAB

Švédská společnost založená vynálezem obalené svařovací elektrody Oscarem Kjellbergem. Nabízí produkty v řadě ARISTO, jedná se o modulární systém, kdy je možné kombinovat svařovací agregát s množstvím podavačů drátu, různými hořáky včetně těch pro tandemové svařování. V nabídce má také výměník nástrojů – ARISTO RT TOOL EXCHANGER, který umožňuje na jednom robotu kombinovat různé druhy svařovacích hořáků podle aktuální potřeby. [34]



Obr. 18 Svařovací zdroj ESAB Aristo™ Mig 5000i [35]

ABB

Švédský výrobce robotů má ve své nabídce kompletní sortiment svařovacích zařízení, které umožňuje postavit kompletní svařovací pracoviště obsahující robota, polohovadlo i svařovací zařízení. Nabídka se zaměřuje dvěma směry – komplexní robotické svařovací buňky FlexArc (se svařovacími zdroji Fronius, SKS nebo Lincoln), nebo svařovací balíček zahrnující svařovací zdroj, podavač (4-kladkové provedení) a vzduchem chlazený hořák včetně všech periférií pod názvem ArcPack. Programování robota a nastavování parametrů svařování probíhá přes SW RobotWare Arc Programming, a jako všechny moderní svařovací zdroje umožňuje pulsní svařování. [36]



Obr. 19 Svařovací zdroj ABB RPC S-400 [36]

SKS WELDING

Německý výrobce svařovací techniky s 30 lety zkušeností nabízí 3 produktové řady pro robotizované pracoviště – Frontpull, Power Joint, Power Clutch, Water Joint a Dual Wire s možnostmi výběru mezi chlazením vzduchem nebo vodou. Sortiment je komplexní – podavače drátu, čističky svařovacích hubic i vybavení pro roboty umožňující „nekonečné“ otáčení svařovacího hořáku. [37]

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

4.1 Princip a rozdělení obloukového svařování

Obloukové svařování využívá nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v ionizovaném plynu, energie potřebná pro tavení svařovaných materiálů je tedy dodávána jako teplo vzniklé při tomto hoření. Stabilita procesu hoření závisí na velikosti napětí potřebného pro ionizaci okolního prostředí a na velikosti proudu, který udržuje plazma oblouku v ionizovaném stavu. [38]

Oblouk je charakterizován těmito znaky:

- malý rozdíl potenciálů na elektrodách
- vysoké proudy (až tisíce ampér)
- vyzařování UV záření
- malý úbytek napětí na anodě

Rozlišujeme tyto metody obloukového svařování dle ČSN EN 4063:

1. Obloukové svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu (11)
 - a. obloukové svařování tavící se elektrodou bez ochranného plynu (111)
 - b. gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou (112)
 - c. obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu (114)
2. Svařování pod tavidlem (12)
 - a. svařování pod tavidlem drátovou elektrodou (121)
 - b. svařování pod tavidlem páskovou elektrodou (122)
 - c. svařování pod tavidlem s přídavkem kovového prášku (124)
 - d. svařování pod tavidlem plněnou elektrodou (125)
 - e. svařování pod tavidlem plněnou páskovou elektrodou (126)
3. Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře (13)
 - a. obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu, MIG (131)
 - b. obloukové svařování tavící se plněnou elektrodou v inertním plynu (132)
 - c. obloukové svařování tavící se plněnou elektrodou s kovovým práškem v inertním plynu (133)
 - d. obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu, MAG (135)
 - e. obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (136)
 - f. obloukové svařování plněnou elektrodou s kovovým práškem v aktivním plynu (138)
4. Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu (14)
 - a. obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu, WIG (141)
 - b. obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu bez přídavného materiálu (142)
 - c. obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu s plněnou elektrodou nebo tyčí (143)
 - d. obloukové svařování wolframovou elektrodou s redukčním podílem plynu v jinak inertním plynu s plným drátem nebo tyčí (145)

- e. svařování wolframovou elektrodou s redukčním podílem plynu v jinak inertním plynu s plněnou elektrodou nebo tyčí (146)
 - f. svařování wolframovou elektrodou s aktivním podílem plynu v jinak inertním plynu (147)
5. Plazmové svařování (15)
- a. plazmové MIG svařování (151)
 - b. plazmové svařování s přidavkem prášku (152)
 - c. plazmové svařování s přeneseným plazmovým obloukem (153)
 - d. plazmové svařování s nepřeneseným plazmovým obloukem (154)
 - e. plazmové svařování s polopřeneseným plazmovým obloukem (155)
 - f. svařování magneticky ovládaným obloukem (185)

Pro účely robotizovaného obloukového svařování se používají zejména metody MIG/MAG (131, 132, 135, 136), následují metody svařování s netavicí se elektrodou (141, 142), v menší míře pak metody svařování pod tavidlem (121, 122) a plazmové svařování (151). Dále budou podrobněji rozebrány metody MIG/MAG (131, 135). [38] [39]

4.1.1 Princip svařování metodou MIG/MAG

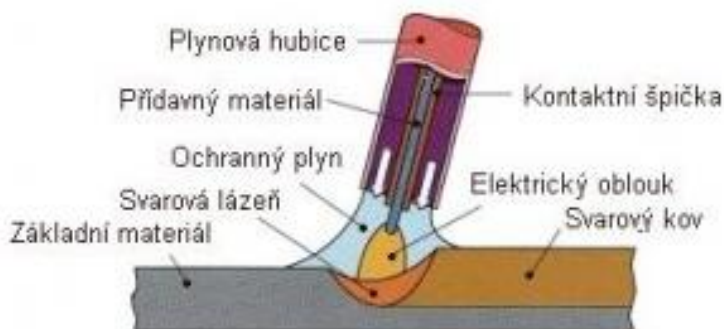
Svařování MIG/MAG je považováno za univerzální metodu, která umožňuje spojování kovů ve všech svařovacích polohách s možností ukládání přídatného materiálu (drátu) ve větším množství. Jejich použití je skutečně široké – od svařování lehkých až středně těžkých ocelových konstrukcí, které mohou být z konstrukční i korozivzdorné oceli (pro korozivzdornou ocel se používá metoda MAG), stejně tak i pro svařování neželezných kovů, jako je hliník a měď (metodou MIG). Tyto vlastnosti předurčují metody MIG a MAG k použití v automatizaci, potažmo v robotizaci. [40]

MIG – Metal Inert Gas

Potřebné teplo pro svařování je získáváno z elektrického oblouku, který hoří mezi tavicí se elektrodou (drátem) a svařovaným materiálem v ochranné atmosféře inertního plynu (Ar, He, případně směs Ar a H₂, která chrání tavnou lázeň a okolí svaru před nepříznivými účinky okolí, zejména před kyslíkem (O₂) a dusíkem (N₂).

MAG – Metal Active Gas

Proces je shodný s metodou MIG, pouze s rozdílem, že ochrannou atmosféru nevytváří inertní plyn, ale aktivní – oxid uhličitý (CO₂), směs Ar + CO₂, případně směs Ar + O₂ + CO₂.



Obr. 20 Obloukové svařování metodou MIG/MAG [41]

Ochranný plyn, respektive jeho složení, má velký vliv na chemické složení svarového kovu, zejména obsah prvků C, Mn a Si a tím přímo ovlivňuje mechanické vlastnosti. Volba jednodíložného nebo vícedíložného plynu přímo ovlivňuje stabilitu hoření oblouku, množství rozstřiku a tvar svaru. [40]

4.2 Vady vznikající při obloukovém svařování

Vady u obloukového svařování jsou vždy nežádoucí, jelikož oslabují pevnost svarového spoje a při jeho selhání mohou mimo jiné ohrozit lidské životy. Jsou způsobeny jednou nebo více příčinami, vady dělíme dle normy ČSN EN ISO 6520-1 do šesti skupin:

1. Trhliny (100) ve svarovém spoji se objevují vlivem rychlého ochlazování, nedostatečného předehřevu, při svařování materiálu s vyšším obsahem uhlíku, manganu a dalších legujících prvků, při nevhodné volbě přídavného materiálu, při příliš rychlém ukončení svařování nebo při nevhodné geometrii svaru. [42] [43] [43]
 - a. podélné (101)
 - b. příčná (102)
 - c. hvězdicová (103)
 - d. kráterová (104)
 - e. skupina nespojitých trhlin (105)
 - f. rozvětvené trhliny (106) [44]
2. Dutiny (200) vznikají v důsledku rychlého chladnutí svaru, při nedostatečné ochraně svaru plynem, při uzavření plynových bublin svarovým kovem, při vysoké rychlosti svařování, dlouhém oblouku a z důvodu nečistot [40] [41] [42]
 - a. plynová (201)
 - b. staženina (202)
 - c. mikrostaženina (203) [44]
3. Pevné vměstky (300) jsou jednou z nejčastější svarových vad, rozdělují se na kovové, oxidické a struskové, příčinou bývá nevyplavení vměstků z tekuté lázně, nesprávné pořadí kladení vrstev nebo když struska předbíhá oblouk. [40] [41] [42]
 - a. struskový vměstek (301)
 - b. tavidlový vměstek (302)
 - c. oxidický vměstek (303)
 - d. kovový vměstek (304) [44]
4. Studené spoje a neprůvazy (400) jsou nebezpečné vady, které vznikají nedokonalým natavením základního materiálu, jsou způsobeny nízkým svařovacím proudem, nesprávným vedením elektrody, vysokou rychlostí svařování nebo nesprávným ustavením svařovaných dílů [41] [42] [43]
 - a. studený spoj (401)
 - b. neprůvar (402)
 - c. jehlice (403) [44]

5. Vady tvaru a rozměru (500) vznikají při velkém svařovacím proudu, při nesprávném úhlu vedení elektrody, při příliš dlouhém oblouku [41] [42] [43]
- a. zápal (vrub) (501)
 - b. nadměrné převýšení tupého svaru (502)
 - c. nadměrné převýšení koutového svaru (503)
 - d. nadměrný průvar (504)
 - e. strmý (nesprávný) přechod svaru (505)
 - f. přetečení (506)
 - g. lineární přesazení (507)
 - h. úhlové přesazení (508)
 - i. proláklina (509)
 - j. díra (510)
 - k. neúplné vyplnění svaru (511)
 - l. nadměrná asymetrie koutového svaru (512)
 - m. nepravidelná šířka (513)
 - n. nepravidelný povrch (514)
 - o. hubený kořen (515)
 - p. pórovitost kořene (516)
 - q. vadné napojení (517)
 - r. nadměrná deformace (520)
 - s. nesprávný rozměr svaru (521) [44]
6. Poslední kategorií jsou různé vady (600), které nespádají do předchozích kategorií, většinou se nejedná o nebezpečné vady, nejčastější vadou je rozstřík, který vzniká při příliš dlouhém oblouku a velkém svařovacím proudu, další vady jsou spíše vizuálního charakteru. [41] [42] [43]
- a. dotyk elektrodou (601)
 - b. rozstřík (602)
 - c. vytržený povrch (603)
 - d. stopa po broušení (604)
 - e. stopa po sekání (605)
 - f. podbroušení (606)
 - g. vada stehu (607)
 - h. přesazení protilehlých housek (608)
 - i. náběhové zbarvení (610)
 - j. okujený povrch (613)
 - k. zbytek tavidla (614)
 - l. zbytek strusky (615)
 - m. nesprávné sestavení koutových svarů (617)
 - n. bobtnání (618) [44]

4.3 Vlivy ovlivňující kvalitu procesu obloukového svařování

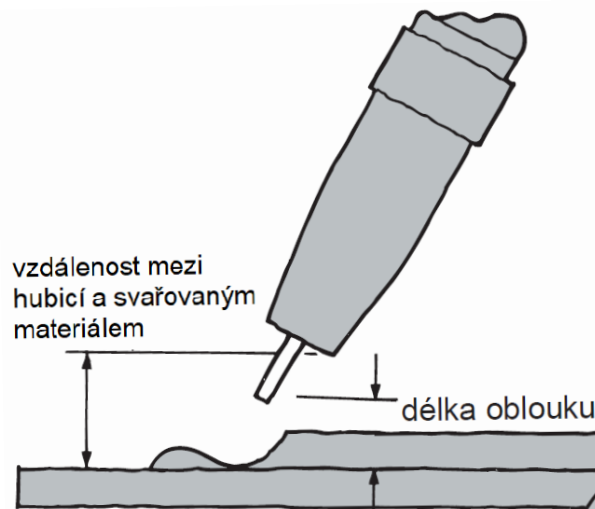
Mezi řadu vlivů, které ovlivňují výslednou kvalitu svařovacího procesu, řadíme tyto:

- a. délka oblouku
- b. úhel svařovacího hořáku vůči materiálu
- c. svařovací proud
- d. svařovací napětí
- e. rychlost svařování
- f. složení ochranného plynu

Vlivy a. a b. ovlivňuje programátor robotizovaného pracoviště, případně seřizovač a je nutné je řešit už ve stádiu návrhu pracoviště.

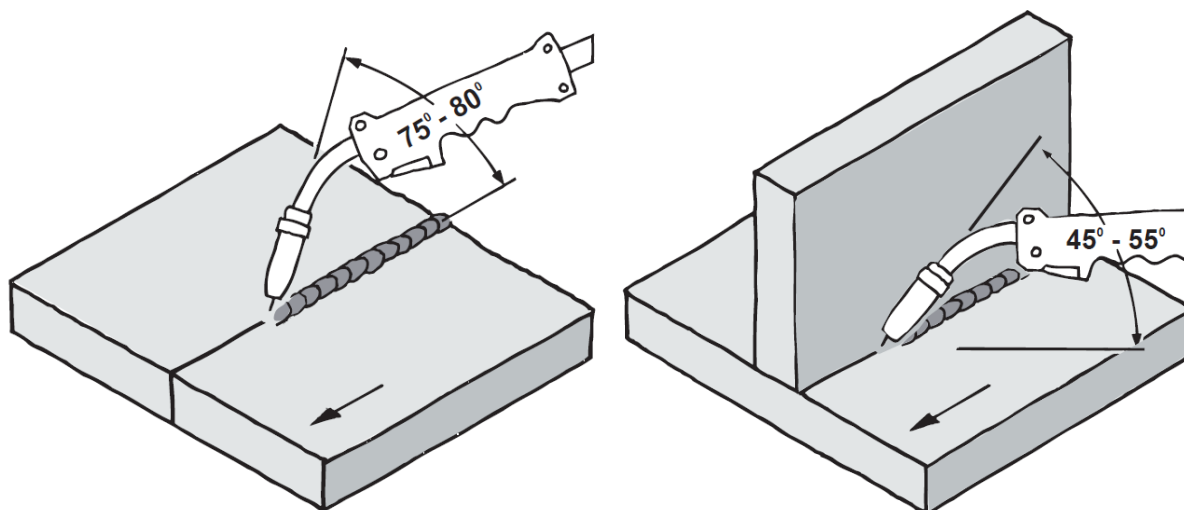
Vlivy c. až f. by měl řešit svářečí technolog, který by měl stanovit výchozí parametry a tyto následně upravit tak, aby byla kvalita svaru vyhovující.

Délka oblouku je vzdálenost mezi špičkou elektrody a povrchem svaru, má zásadní vliv na eliminaci studených spojů, na rozstřík a na velikost napětí a proudu oblouku. Dnešní moderní svařovací systémy umožňují automatické udržování délky oblouku pro dosažení co nejideálnějšího svarového spoje. [45]

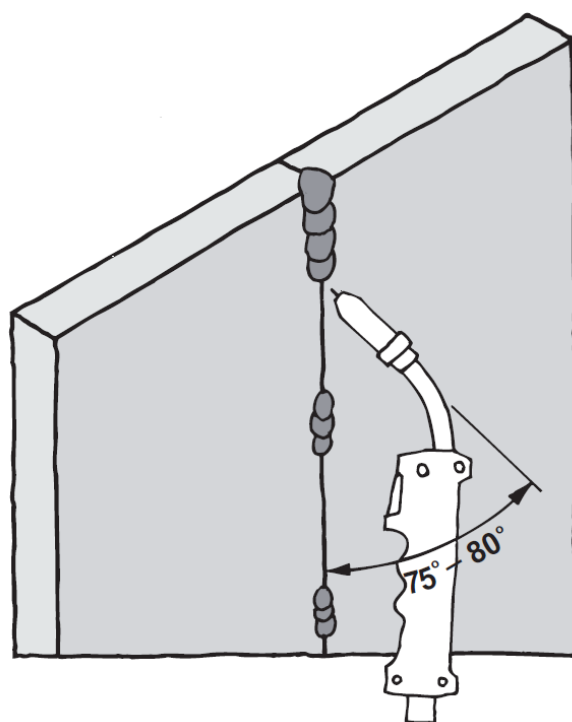


Obr. 21 Vzdálenost mezi hubicí a svařovaným materiálem při MIG/MAG svařování [45]

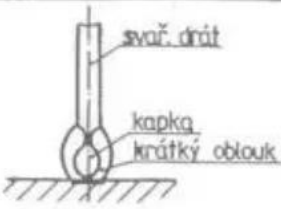
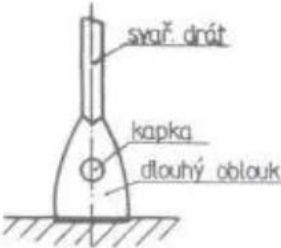
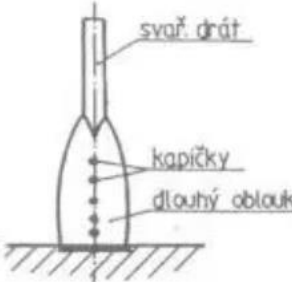
Dalším parametrem ovlivňujícím velkou měrou kvalitu výsledného svarového spoje je úhel hořáku vůči svařovanému materiálu, který je rozdílný u svařování natupo a u koutových svarů, také záleží na poloze svařování. [45]



Obr. 22 Úhel hořáku při svařování natupo a u koutových svarů [45]



Obr. 23 Úhel hořáku při svislém svařování [45]

Způsob přenosu svarového kovu, napětí	Znázornění přenosu	Použití jednotlivých způsobů přenosu svarového kovu
zkratový 18 až 22 V		<ul style="list-style-type: none"> - svařování ve všech polohách - svařování tenkých plechů - svařování kofenů větších tloušťek materiálu - svařovací drát malého průměru
bezzkratový 28 až 40 V		<ul style="list-style-type: none"> - svařování v poloze vodorovné shora - svařování výplňových vrstev a krycí vrstvy - svařovací drát většího průměru
sprchový 28 až 40 V nedá se dosáhnout v CO ₂		<ul style="list-style-type: none"> - svařování ve všech polohách - svařování s velkými výkony roztavení a minimálním rozstříkem - pro dosažení hladkého povrchu svaru - možnost použití vyšších svařovacích parametrů - vysoká kvalita svarového kovu

Obr. 24 Velikost oblouku při MIG/MAG svařování [46]

Délka oblouku může být různá podle způsobu přenosu svarového kovu. Ten může být zkratový, bezzkratový nebo impulzní (sprchový), který ale není možné dosáhnout v ochranné atmosféře CO₂. [46]

4.4 Robotizované svařování

Jak je již psáno v předchozích kapitolách, výhodou robotizace je rychlost, přesnost a opakovatelnost, což jsou vlastnosti, kterých se s velkým úspěchem využívá u automatizace svařování pomocí robotů. Při správném nastavení všech částí robotizovaného pracoviště pro svařování lze docílit vysoké a opakovatelné kvality svarů a tím i vyšší produktivity práce. Nicméně opakovatelnost a přesnost svařování je závislá nejen na přesnosti svařovaných dílů, ale i na konstrukci samotného upínacího přípravků. Ten může být ve formě jednoduchého sklíčidla pro jednoduché svařence až po několikátunové specificky vytvořené přípravky určené pro polohovadla a plně automatizované pracoviště. A právě v polohovadlech se skrývá další úskalí mající vliv na přesnost a opakovatelnost – přesnost polohování pohonů polohovadel, která by se v nejhorších případech měla pohybovat s tolerancí $\pm 0,4$ mm, v praxi by to však mělo být ještě méně. [47] [48]

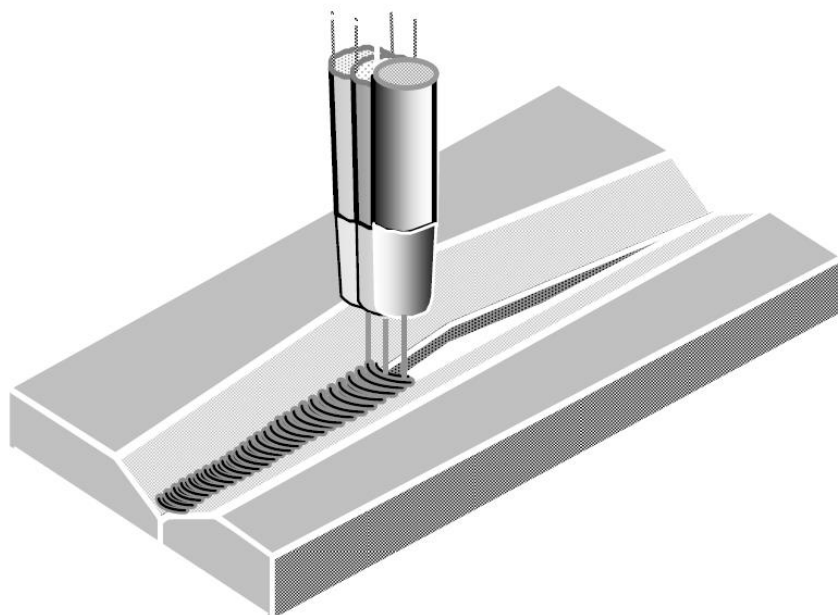
Současné trendy robotizovaného svařování jsou v modernizaci obloukového svařování, a to dvěma způsoby – co nejproduktivnější a nejvýkonnější svařování metodou MIG/MAG díky využití invertorových svařovacích zdrojů, druhý směr vývoje vede k minimalizaci vneseného tepla, např. metoda CMT (Cold Metal Transfer od firmy Fronius, SpeedPulse od firmy Lorch, Cold Weld od firmy Cloos atd.). Mezi další trendy lze zařadit implementaci prvků konceptu Industry 4.0, jako je dálkové sledování a údržba, systémové analýzy, ukládání dat pro ověřování shod s EN a ISO normami, aktivní řízení svařovacích parametrů (on-line monitoring proudu, napětí, rychlosti podání drátu, doby ochlazování, teplot jednotlivých částí atd.) apod. [49]

Aktivní řízení oblouku Weldguide IV od firmy ABB je technologie, která sleduje hodnoty impedance blízko oblouku při frekvenci měření 25 kHz (25 000 vzorků za vteřinu) a následně aktivně ovlivňuje dráhu robota tak, aby byla zachována stabilita oblouku. Systém využívá senzorů svařovacího napětí a proudu, měření je synchronizováno s pohybem robota a umožňuje vertikální i horizontální korekci dráhy tak, aby bylo zajištěno konzistentní umístění svařovacího oblouku podél švu. [50]

Základní parametry

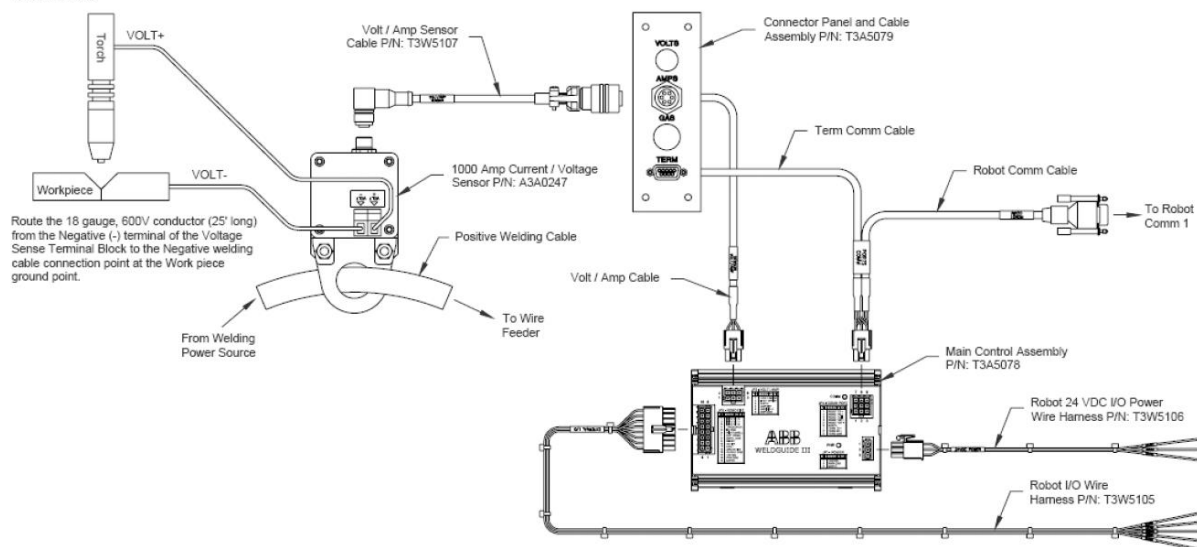
- vzorkovací frekvence 25 kHz
 - minimální šířka vazby 1,5 násobek průměru drátu
 - rozsah měření napětí 0-80 V
 - rozsah měření proudu 0-800 A
 - vertikální korekce od 0,01 mm
 - horizontální korekce od 0,01 mm
 - korekce svařovacího napětí v reálném čase od 0,1 V
 - korekce svařovacího proudu v reálném čase od 1 A
- [50]

Patentovanou technologii Weldguide je možné použít v různých režimech svařování – s krátkým obloukem, sprchovým obloukem nebo při pulsním svařování. [50]



Obr. 25 Adaptivní vyplňování svaru při změně šířky spáry [51]

Route the 18 gauge, 600V conductor (3' long) from the Positive (+) terminal of the Voltage Sense Terminal Block to the Positive welding cable connection point at the Welding Torch or Wire Feeder.



Obr. 26 Schéma zapojení aktivního řízení oblouku do řízení IRC 5 [51]

4.4.1 Robotizované pracoviště pro obloukové svařování

Jednoduchý model robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování se skládá z těchto základních částí [52]:

A – svařovací zdroj

B – interface

C – kabeláž pro komunikaci mezi robotem a svařovacím zdrojem

D – chladicí jednotka

E – podavač svařovacího drátu

F – držák podavače drátu

G – hadicový svazek mezi svařovacím zdrojem a podavačem drátu

H – kolizní box

I – přípojovací deska hořáku k robotu

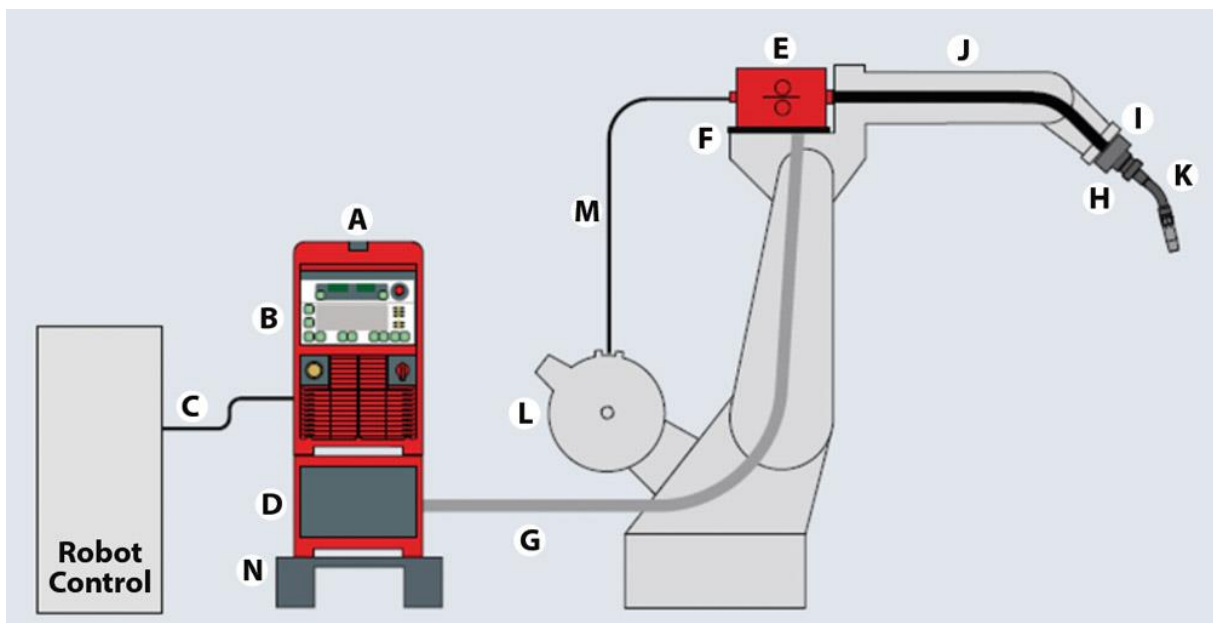
J – hadicový svazek mezi podavačem drátu a svařovacím hořákem

K – svařovací hořák

L – zásobník svařovacího drátu

M – vedení drátu ze zásobníku k podavači

N – podstavec pod svařovací zdroj



Obr. 27 Schéma robotizovaného svařovacího pracoviště [53]

Toto schéma může být rozšířeno o další podavače (například systém CMT od firmy Fronius), řízení nadřazeným PLC, polohovadlem, které může sloužit jako další osa k robotu, jinak řešeným přívodem svařovacího drátu ze zásobníku atd. [52]

4.5 Části svařovacího systému pro obloukové svařování MIG/MAG a TIG

4.5.1 Svařovací zdroj

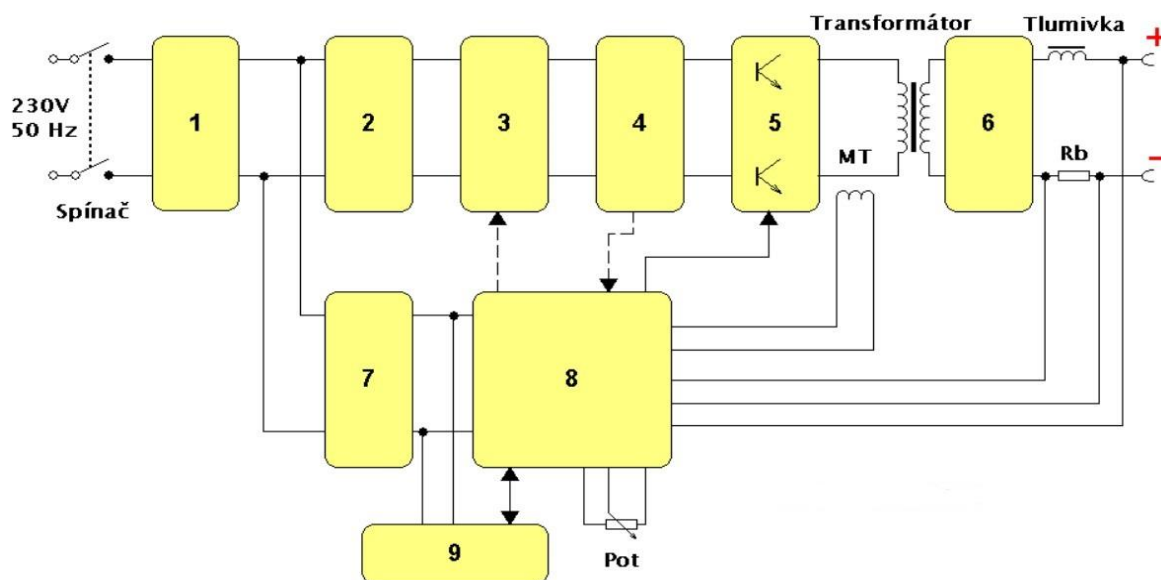
Zdroj slouží k dodání elektrické energie pro zapálení a hoření elektrického oblouku. Mezi hlavní požadavky na svařovací zdroje patří:

- stabilní oblouk a jeho dobré a rychlé zapálení
- plynulá a dostatečně přesná regulace svařovacího proudu, případně napětí
- stálý výkon po celou dobu svařování
- vysoká účinnost
- odolnost proti zkratům při zkratovém přenosu
- rychlý nárůst svařovacího napětí
- vysoká spolehlivost
- odpovídající statické charakteristiky

Dělí se podle několika kritérií:

- způsob přeměny energie
 - rotační (dynama)
 - statické (svařovací transformátory, usměrňovače, invertory - měniče)
- způsob dodávaného proudu
 - zdroje stejnosměrného proudu (svařovací dynama)
 - zdroje usměrněného proudu (svařovací usměrňovače, měniče)
 - zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory) [54] [55]

V dnešní době se pro svařování metodou MIG/MAG téměř výhradně využívají zdroje stejnosměrného proudu – svařovací invertory neboli měniče.



LEGENDA:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 - Vstupní odrušovací filtr | 6 - Sekundární usměrňovač | Pot - Zadávací potenciometr |
| 2 - Primární usměrňovač | 7 - Napájecí zdroj řídicí jednotky | MT - Měřicí transformátor |
| 3 - SoftStart | 8 - Řídicí jednotka | Rb - Bočník |
| 4 - Vyhlažovací kondenzátory | 9 - Ovládací panel | |
| 5 - Tranzistorový střídač | | |

Obr. 28 Blokové schéma svařovacího invertoru [56]

4.5.2 Podavač drátu

Hlavním úkolem podavače svařovacího drátu je jeho plynulé a kontinuální podávání do hořícího oblouku. U MIG/MAG svařování se v drtivé většině případů preferuje tzv. tlačné podávání drátu. Toto provedení je citlivé na kvalitu bovdeny vedoucího drát – bovden musí být veden s velkými poloměry ohybu, nesmí být zlomen ani zanesen nečistotami. Udává se, že maximální vzdálenost mezi podavačem a hořákem by měla být maximálně 5 metrů, pak už je zajištění plynulého podávání drátu obtížné (platí pro drát o průměru 1,0 - 1,6 mm, u tenčích drátů se vzdálenost zmenšuje). Pro metody MIG/MAG může být svařovací proud veden skrz podavač i mimo něj, u metody TIG je proud veden mimo podavač. [55]

Podavač se skládá z těchto součástí:

- převodový elektromotor
- kladkový mechanismus
- ovládací panel (závisí na výrobci a provedení)

Kladkové mechanismy mohou mít několik variant provedení:

- dvoukladkový mechanismus
 - nejběžnější
 - s volným (hnaná je pouze jedna kladka) nebo s hnaným přitlakem (poháněné jsou obě kladky)
 - jsou levné a jednoduché, což je jejich výhoda, nevýhodou je velká citlivost na mechanický stav kladek a čistotu bovdeny a nevhodnost použití pro měkké dráty a vysoké rychlosti podání
- čtyřkladkový podavač
 - použití v profesionální svařovací technice
 - s volným nebo hnaným přitlakem
 - možnost regulace přitlaku pro obě kladky naráz nebo pro každou zvlášť
 - výhodou je větší adheze, menší citlivost na stav bovdeny a podávacích kladek, nevýhodou je vyšší cena a složitost
- vícekladkový podavač
 - použití v profesionální svařovací technice, u robotizovaného svařování, kdy je velmi důležité hladké a plynulé podávání drátu
 - většinou šestikladkové provedení
- s mimoběžnými osami

Provedení kladek může být několika druhů – pro ocelové dráty se používají kladky s trojúhelníkovou drážkou, pro hliníkové dráty s půlkulatou drážkou a pro trubičkové dráty s půlkulatou drážkou s vroubkováním pro zajištění vyšší adheze. [57]

Dále je možné podavače dělit dle jejich použití:

- snímatelný podavač
 - již zastaralá konstrukce
 - podavač může být umístěn na zdroji nebo je umístěn blíže k hořáku
 - výhodou je lepší manipulace než v případě napevno umístěného podavače

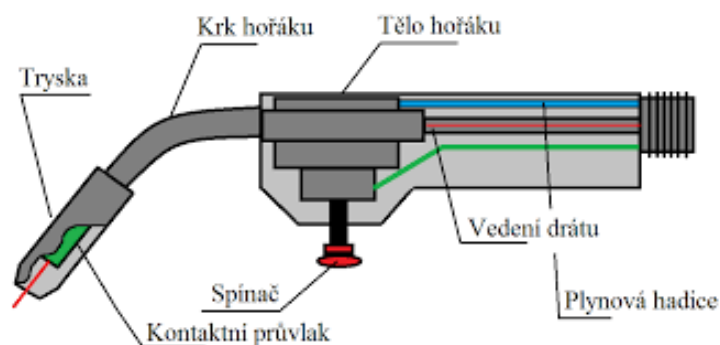
- mezipodavač
 - mezi svařovací hořák a hlavní podavač je vložen mezipodavač, který pomáhá s posuvem drátu
 - provedení buď dvoukladkové nebo čtyřkladkové
 - nevýhodou je nutnost sladění rychlostí podání drátu hlavního podavače a mezipodavače, výhodou je možnost umístění mezipodavače až na vzdálenost 30 metrů od hlavního podavače
- PUSH-PULL systém
 - jedná se o modifikaci systému s mezipodavačem, kdy je tento mezipodavač vložen přímo do svařovacího hořáku
 - dvoukladkové provedení
 - nevýhodou je opět nutnost sladění rychlostí podávání drátu, nicméně řešení je v externím řízení, který reguluje rychlosti obou podavačů a v použití tzv. wire bufferu neboli vyrovnávače drátu, který kompenzuje nepřesnosti v řízení otáček obou podavačů [57]

4.5.3 Svařovací hořák

Hořák je poslední část svařovací soustavy, mezi hořákem (špičkou) a svařovaným materiálem hoří oblouk. Zajišťuje přívod ochranného plynu do svaru, napájení oblouku elektrickým proudem a u systému MIG/MAG přívod přídavného materiálu do oblouku. Stav jednotlivých částí hořáku přímo ovlivňuje výslednou kvalitu svaru. [55] [58]

Rozdělení může být následující:

- dle provedení
 - ruční
 - strojní
- dle vedení přídavného materiálu
 - bez vedení přídavného materiálu
 - s vedením pro jeden přídavný materiál
 - s vedením pro dva přídavné materiály, tzv. tandemové
- dle způsobu chlazení
 - vzduchové chlazení
 - vodní chlazení
- dle způsobu ovládání
 - ruční ovládání
 - dálkové ovládání robotizovaným pracovištěm nebo nadřazeným PLC



Obr. 29 Schéma ručního hořáku pro svařování metodou MIG/MAG [59]

4.6 Bezpečnost robotizovaných pracovišť

Nedílnou součástí všech robotických pracovišť je jejich bezpečnostní ochrana pro obsluhu zařízení, která má za úkol zabránit zranění, ať už s dočasnými či trvalými následky, či smrtelným úrazům. Pro bezpečnost robotizovaných pracovišť je třeba dodržovat mezinárodně platné normy, v Česku se jedná o převzatou normu ČSN EN ISO 10218-1:2012 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty, normu ČSN EN ISO 10218-2:2011 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace a normu ČSN EN ISO 13850 Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci. [60]

Výhodou simulačních programů je mimo jiné to, že je možné řešit bezpečnost zařízení již ve stádiu plánování a navrhování. Při návrhu je nutné zajistit, aby obsluha nemohla dosáhnout na nebezpečné pohyby strojního zařízení (například pneumatické upínače, otáčecí polohovačla apod.) nebo vstoupit do nebezpečného prostoru a zařízení spustit, aby robot neohrozil obsluhu pracoviště, pokud se nachází vně bezpečnostního prostoru. Dále je nutné zajistit ochranu před UV zářením ze svařování. Pro zajištění těchto podmínek je vhodné využít mechanické zábrany nebo elektronické bezpečnostní prvky, případně jejich kombinaci.

Současní výrobci robotů využívají bezpečnostních nástaveb řídicích systémů robotů, které usnadňují splnění těchto podmínek (zabránění opuštění vymezeného pracovního prostoru robotem, omezení rychlostí pohybu robota, detekce vstupu osoby do pracovního prostoru). Je nutné zajistit, aby byl bezpečnostní okruh nadřazen řídicímu systému robota nebo celého pracoviště. [61]

Mezi prvky zajišťující bezpečnost patří:

- bezpečnostní světelné závěsy
- bezpečnostní laserové skenery
- bezpečnostní kamerové systémy
- zabezpečené radarové senzory
- vícepaprskové bezpečnostní světelné mříže
- jednopaprskové bezpečnostní světelné závory
- elektromechanické bezpečnostní zámky
- bezpečnostní bezdotykové senzory
- bezpečnostní rozhraní – relé, jednotky [62]

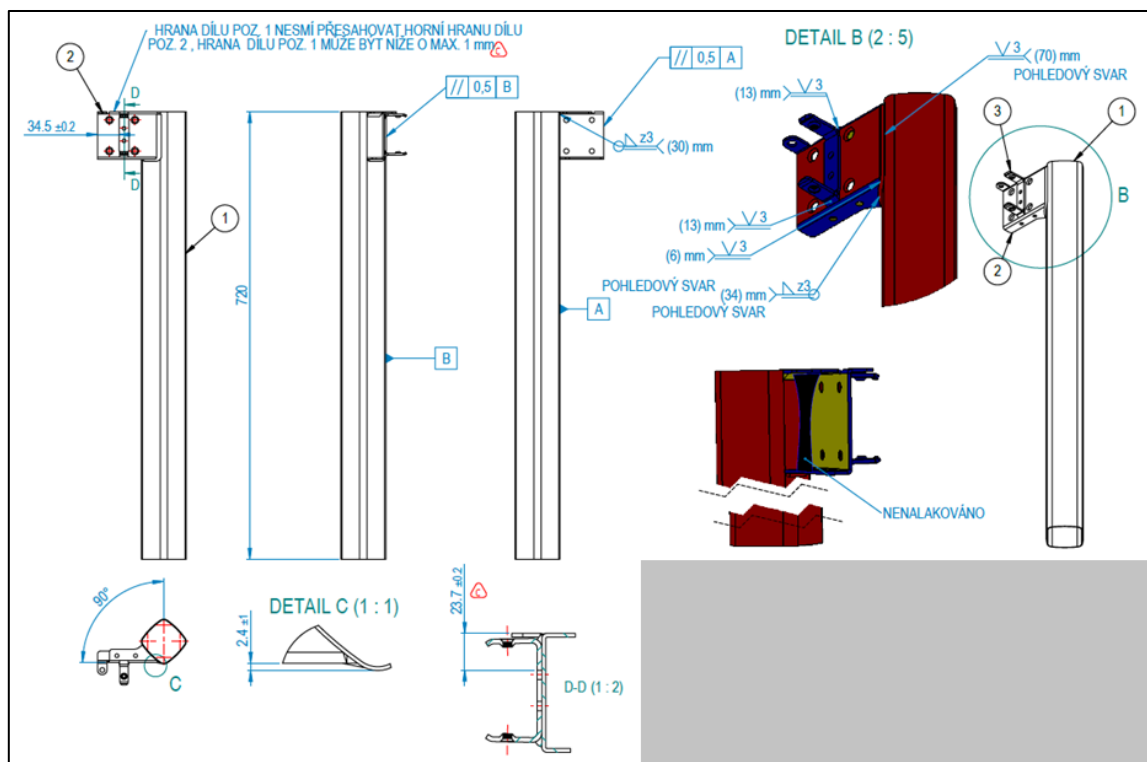
Komplexní bezpečnostní systém pro zajištění bezpečného prostoru jménem Safe Robotics Area Protection nabízí firma SICK, tento systém obsahuje SW s řídicí logikou, nastavením komunikace a specifická nastavení pro roboty FANUC, KUKA, YASKAWA a UNIVERSAL ROBOTS. Dále je součástí balíčku Hardware Kit, který je nabízen v různých variantách – vždy je součástí bezpečnostní laserový skener s hlavním modulem, dále sada volitelně obsahuje světelné závěsy, I/O modul a další prvky. [63]

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

Pro účely této diplomové práce jsem zvolil svařenec nohy rozkládacího stolu. Jedná se sestavu 3 kovových dílů – nohy, konzoly a upevňovacího U-profilu pro uchycení válcovaných profilů tvořících rám pro desku stolu. Tato noha se dělá ve čtyřech variantách, které se navzájem liší jen polohou konzoly a upevňovacího U-profilu. Všechny 4 nohy budou svařovány naráz, čemuž bude následně uzpůsoben svařovací přípravek. Materiál nohy je ocel E190+CR2, konzole a U-profil je z materiálu S235JR, který je mořený. Model svařence níže.



Obr. 30 Model svařence nohy

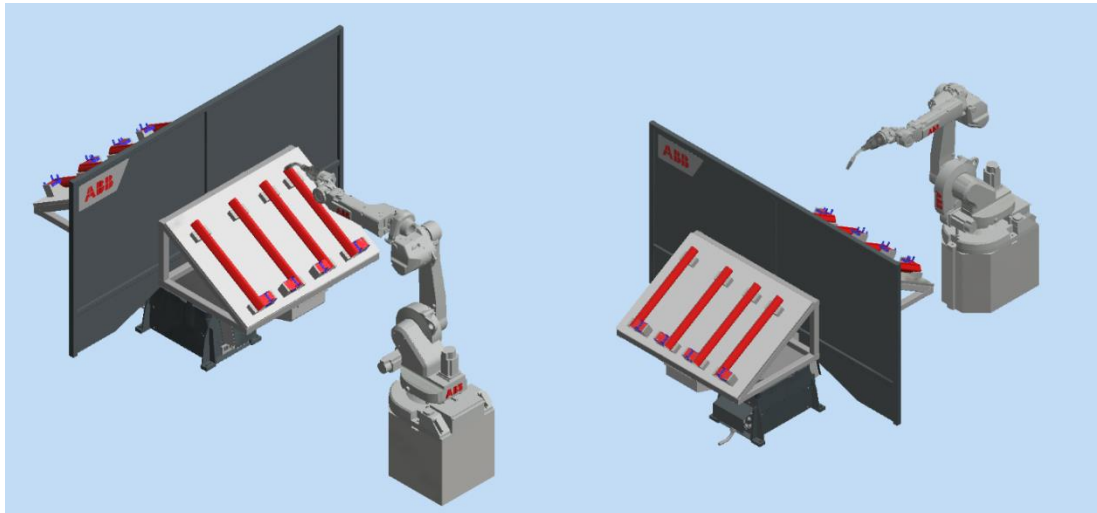


Obr. 31 Výkres svařence nohy

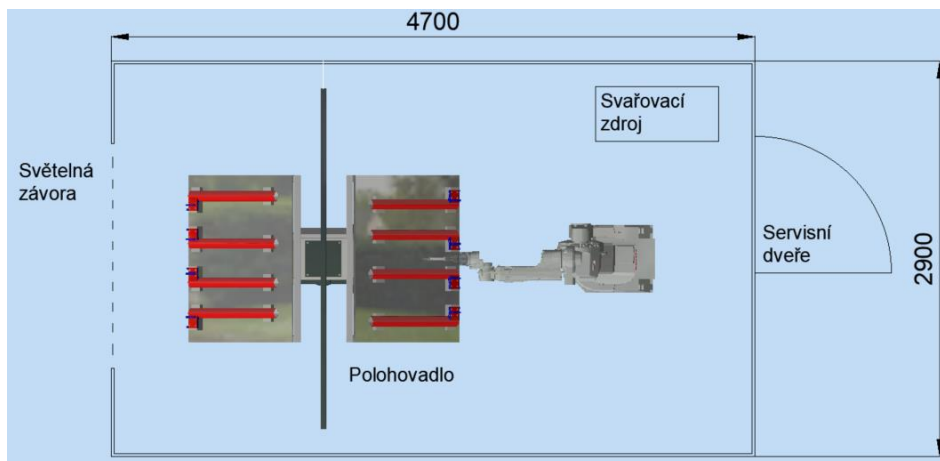
Po rozvaze jsem se rozhodl vytvořit 3 jednoduché modely svařovacích pracovišť, které využívají vždy robota značky ABB, a to typ IRB 1660ID nebo IRB 2600ID. Polohovadla budou taktéž značky ABB, svařovací techniku využiji z knihoven softwaru RobotStudio, a to od firmy ESAB – konkrétně se jedná o svařovací hořák Aristo™ RT62 se sklonem 45°, podavač Aristo™ RF 3004HW s držákem a svařovací zdroj Aristo™ Mig 5000i.

5.1 Varianta A

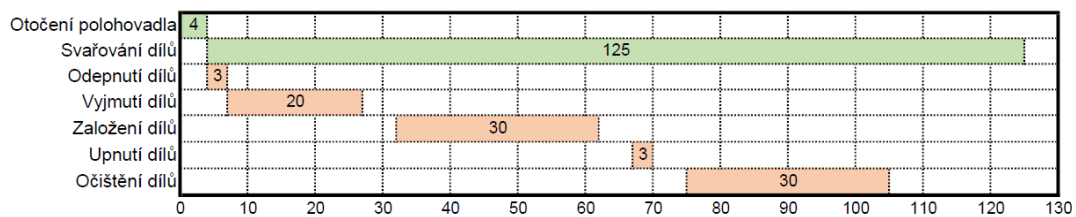
První varianta svařovacího pracoviště byla vytvořena ze šestiosého robota IRB 1660ID a otáčecího polohovadla IRBP C 500.



Obr. 32 Sestava pracoviště – Varianta A



Obr. 33 Sestava pracoviště – půdorys Varianta A

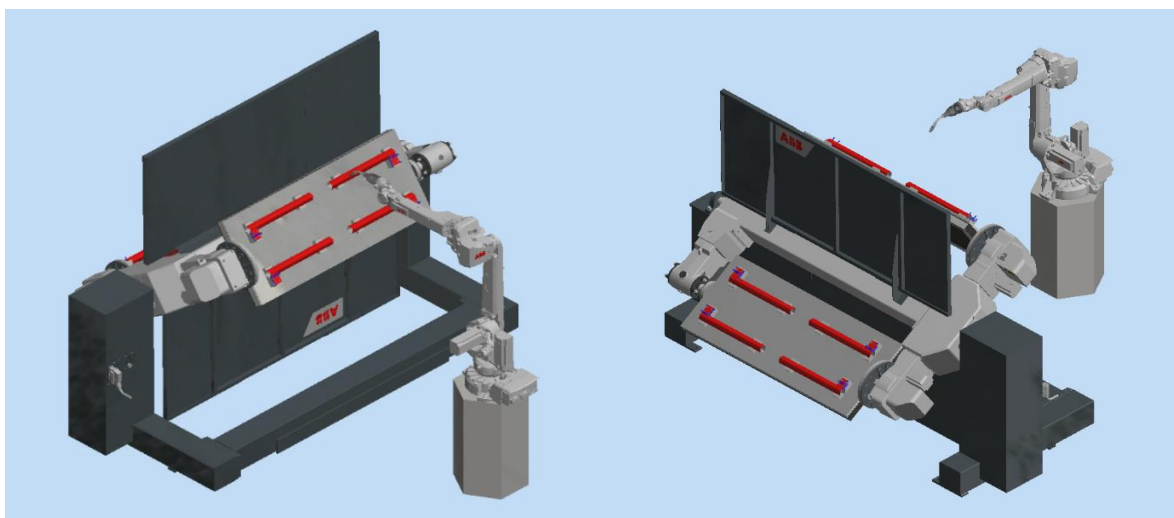


Obr. 34 Časový sled operací – odhad Varianta A [sec]

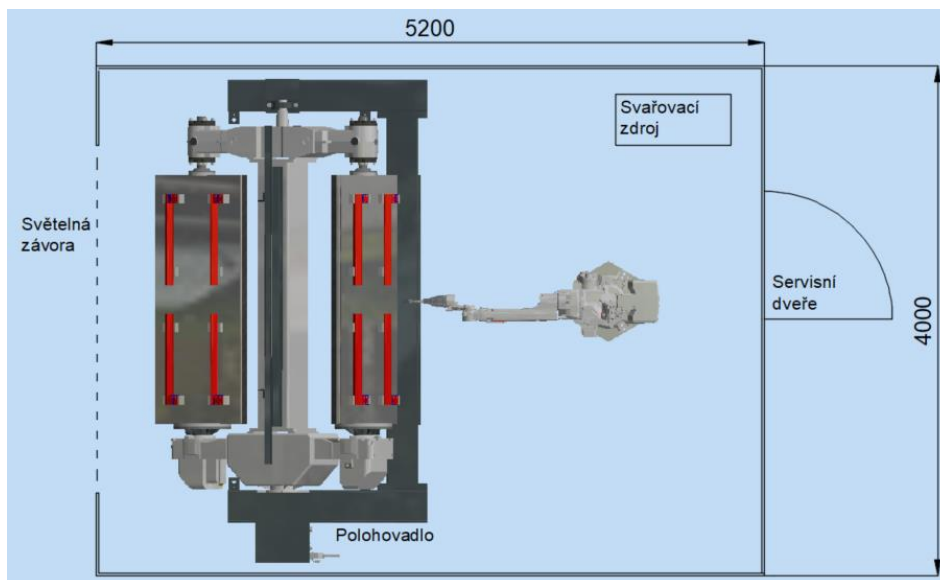
Nosnost polohovadla je 500 kg, doba otáčení 3,8 sekundy, polohovadlo koná otáčivý pohyb okolo svislé osy procházející středem zařízení. Zastavěná plocha činí 13,6 m². Přípravek tvoří rám z ocelových profilů s upínkami pro uchycení svařovaných dílů. V rámci výběru variant byl přípravek zjednodušen na nutné minimum. Odhadovaný čas výroby je 125 sekund, během svařování má operátor prostor pro očištění svařenců a přípravu dílů pro další svařování. [64]

5.2 Varianta B

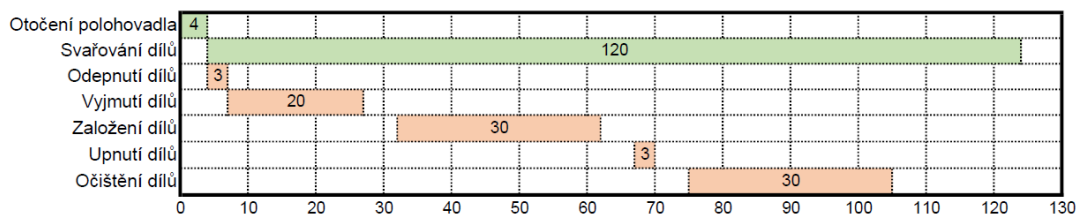
Pro vytvoření druhé varianty svařovacího pracoviště jsem z důvodu většího dosahu využil šestiosého robota IRB 2600ID a přetáčecí polohovadlo IRBP K 600 D1200-L2000.



Obr. 35 Sestava pracoviště – Varianta B



Obr. 36 Sestava pracoviště – půdorys Varianta B

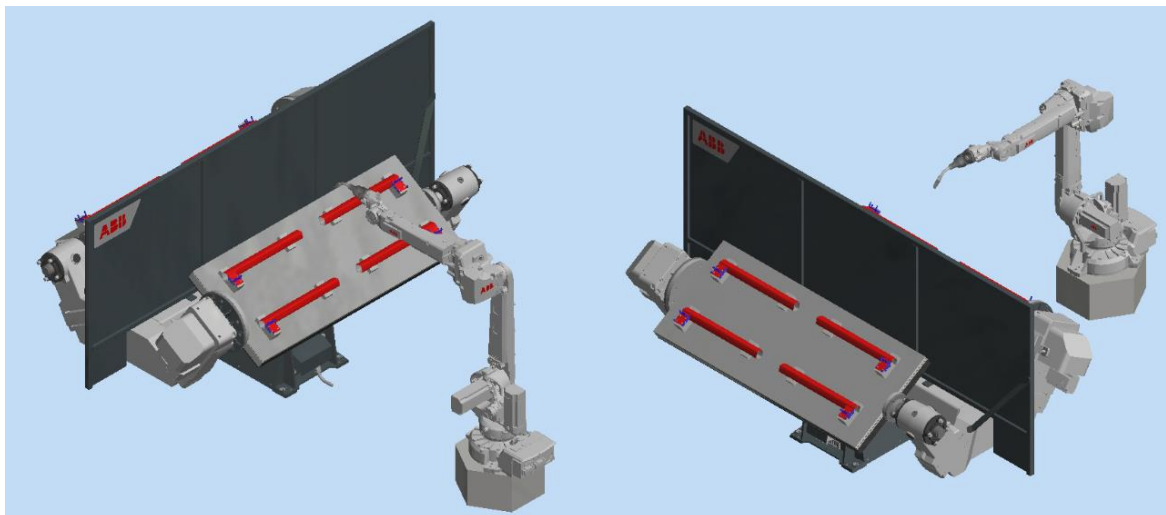


Obr. 37 Časový sled operací – odhad Varianta B

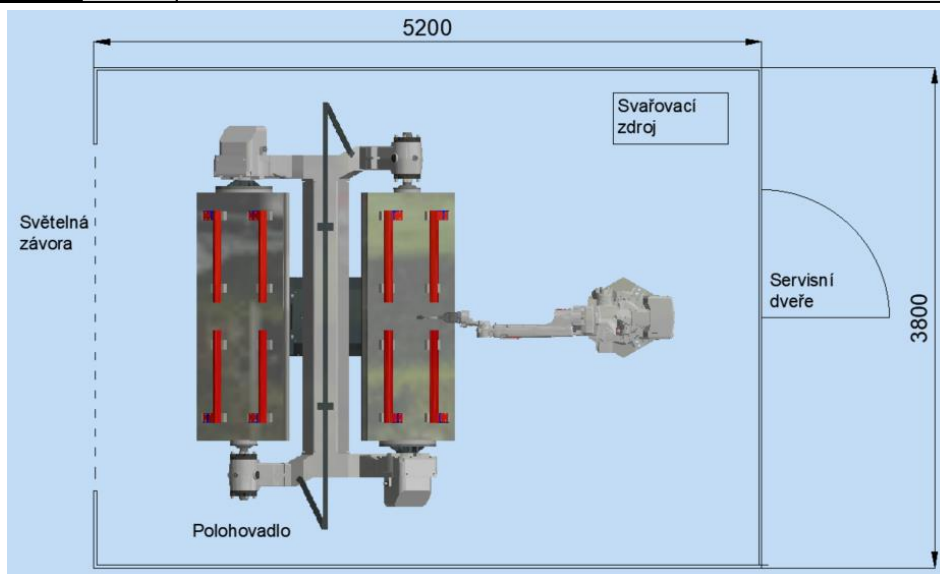
Zastavěná plocha u této varianty činí $20,8 \text{ m}^2$, výhodou tohoto polohovadla je, že nekoná otáčivý pohyb okolo svislé osy, využívá rotace okolo vodorovné osy pro oba přípravky a zároveň rotuje okolo vodorovné osy celé polohovadlo. Pro samotné přetočení přípravků tudíž nevyžaduje velký manipulační prostor, což umožnilo instalaci bezpečnostního oplocení v poměrně těsné blízkosti polohovadla. Nosnost polohovadla činí 600 kg, čas otočení je dle údajů výrobce 3,4 sekundy. Přípravek je tvořen plochým rámem z ocelových profilů, na kterém jsou upínky pro upevnění svařovaných dílců. Přípravek je opětovně pro výběr varianty zjednodušen. Odhad doby pro svaření výrobků je 120 sekund, čas je mírně vyšší z důvodu větších přejezdů mezi svařenci. Stejně jako u varianty A má obsluha prostor pro očištění svařenců a přípravu nových dílů. [65]

5.3 Varianta C

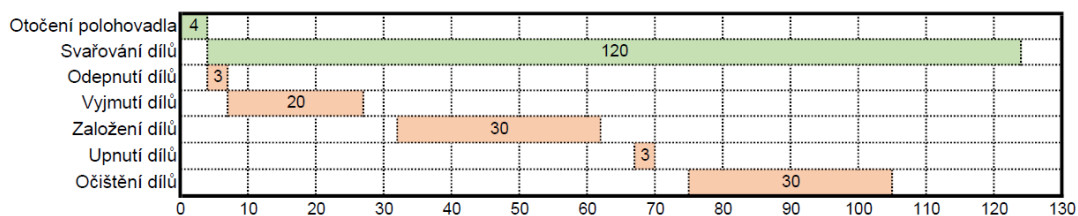
U třetí varianty svařovacího pracoviště jsem opět z důvodu zvýšení dosahu zvolil šestiosého robota IRB 2600ID a polohovadla IRBP R 600 D1200-L2000. Přípravek je shodný jako u Varianty B, přetáčecí polohovadlo je nahrazeno otáčecím s naklápěním.



Obr. 38 Sestava pracoviště – Varianta C



Obr. 39 Sestava pracoviště – půdorys Varianta C



Obr. 40 Časový sled operací – odhad Varianta C

Poslední varianta a zvolené polohovadlo IRBP R 600 kombinuje dvě předchozí varianty polohovadel – otáčení okolo svislé osy doplňuje možnost naklápění polohovadel jako u varianty B. I toto polohovadlo má nosnost 600 kg, dle katalogu výrobce je schopno otočení okolo svislé osy za 3,7 sekundy, zastavěný prostor je 19,8 m². Přípravek je totožný jako v případě varianty B, a to včetně uchycení, jelikož firma ABB u svých polohovadel využívá unifikace přípojných přírub. Čas potřebný pro svaření výrobků je odhadován stejně jako u předchozí varianty B – 12 sekund. [66]

5.4 Porovnání jednotlivých variant

Při výběru nejvhodnější varianty budu používat multikriteriální analýzu. Jednotlivá kritéria jsou uvedena v tabulce (Tabulka 1) včetně jejich popisu:

- celková zastavěná plocha;
- doba cyklu;
- ergonomie pracoviště;
- odhadované náklady;
- pružnost při změně sortimentu.

Kritérium	Označení	Popis	Váha
Doba cyklu	K1	Časový úsek pro provedení požadované operace	30 %
Odhadované náklady	K2	Odhad nákladů na pořízení pracoviště	30 %
Zastavěná plocha	K3	Plocha zastavěná pracovištěm včetně bezpečnostních prvků	15 %
Ergonomie	K4	Náročnost obsluhy pracoviště pro operátory	15 %
Pružnost pracoviště	K5	Schopnost přizpůsobení novému typu výroby	10 %

Tab. 1 – Popis kritérií

Kritéria jsem následně zapsal do tabulky a provedl jejich hodnocení pro všechny navrhované varianty. Váhu jednotlivých kritérií jsem zvolil subjektivně dle důležitosti pro výběr pracoviště (konkrétní kritéria a jejich důležitost si určuje hlavně zákazník). Hodnocení 3 znamená nejlepší výsledek, hodnocení 1 naopak nejhorší.

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5
Varianta A	1	3	3	1	1
Varianta B	3	2	1	3	2
Varianta C	2	1	2	2	3

Tab. 2 – Ohodnocení jednotlivých kritérií

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	Výsledek	Pořadí
Varianta A	0,3	0,9	0,45	0,15	0,1	1,9	2.
Varianta B	0,9	0,6	0,15	0,45	0,2	2,3	1.
Varianta C	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	1,8	3.

Tab. 3 – Vyhodnocení variant

6 VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ PRACOVISŤE

6.1 Tvorba 3D modelu pracoviště

Pro zprovoznění nejvhodnější varianty je potřeba vytvořit 3D model pracoviště v programu RobotStudio od firmy ABB. Model pracoviště by měl odpovídat reálnému stavu po realizaci pracoviště.

6.1.1 Polohovadlo

Z porovnání jednotlivých variant vyšlo jako nejvýhodnější pracoviště s polohovadlem IRBP K 600. Jedná se o polohovadlo uzpůsobené pro obloukové svařování vybavené dvěma stanicemi, kdy operátor nakládá materiál na jednu stranu a robot pracuje na straně druhé. Po dokončení cyklu svařování se celý rám polohovadla otočí o 180°, přičemž dojde k natočení obou stanic tak, aby byl zajištěn pohodlný přístup pro odebrání a naložení dílů a pro ideální pozici pro robotické svařování. Mezi stanicemi se nachází ochranná zástěna pro ochranu operátora před negativními vlivy ze svařování (zplodiny, hluk, záření). [64]



Obr. 41 Polohovadlo ABB IRBP K-600 [67]

6.1.2 Robot

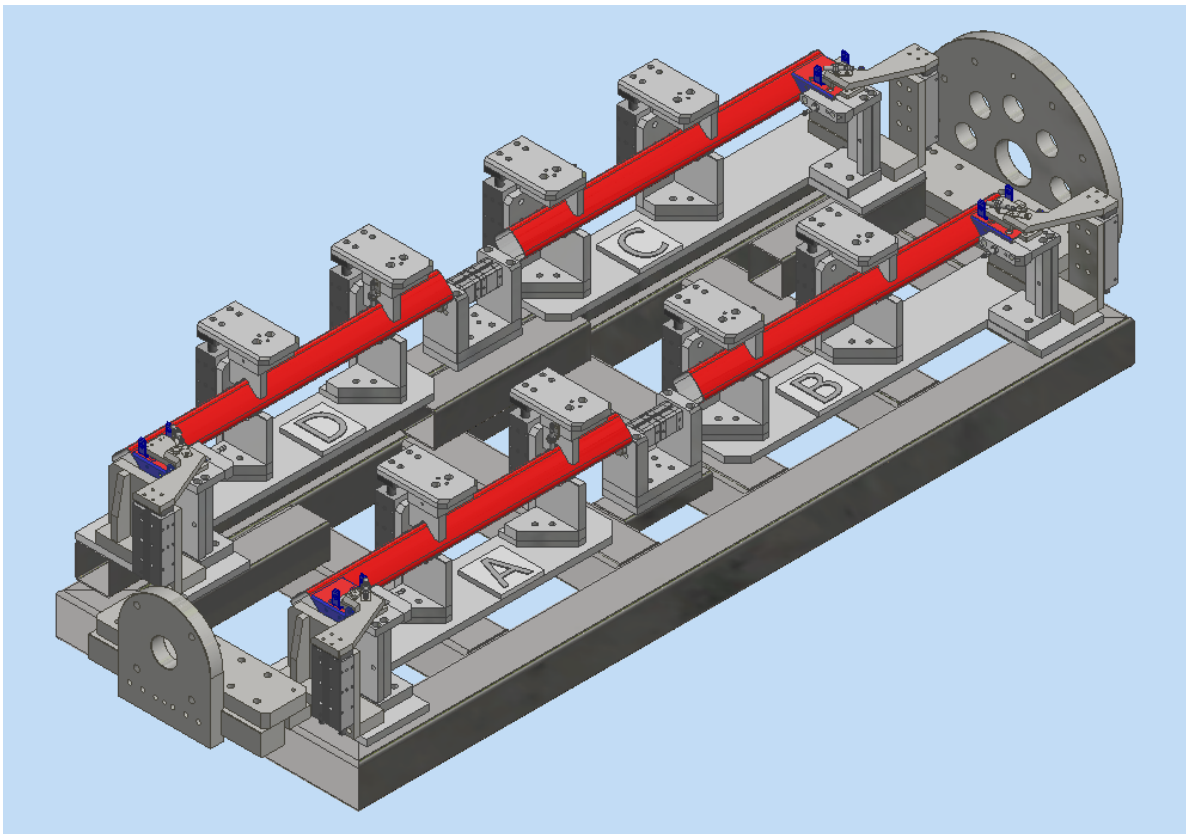
U této aplikace byl zvolen šestiosý robot IRB 2600ID určený pro svařovací aplikace, který umožňuje interní vedení kabelového svazku skrz šestou osu a díky tomu má zvětšený úhel otočení šesté osy v rozmezí $+400^\circ$ až -400° . [68]



Obr. 42 Svařovací šestiosý robot ABB IRB 2600ID [69]

6.1.3 Svařovací přípravek

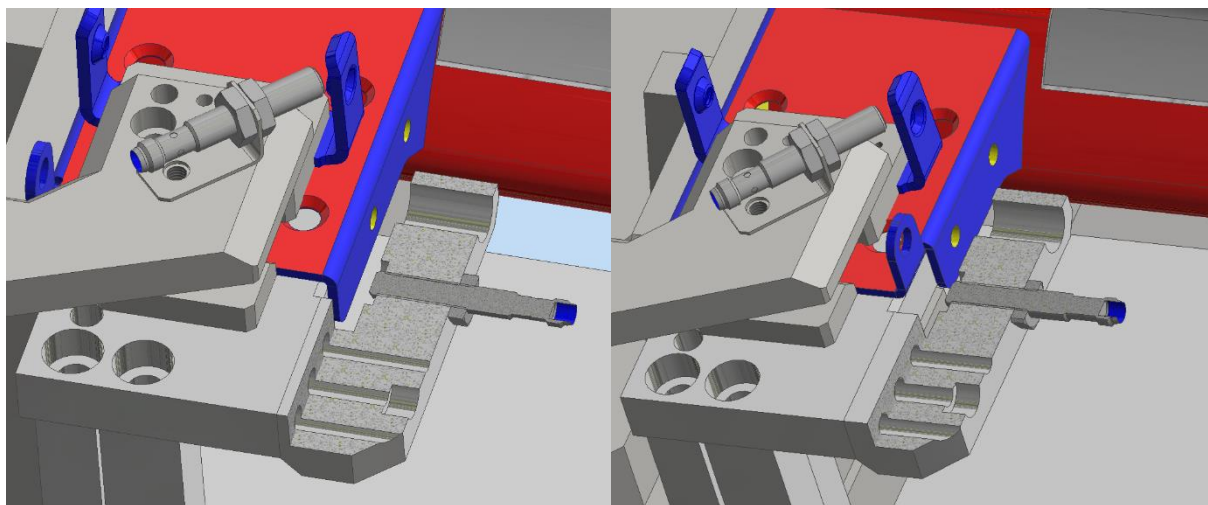
Pro toto pracoviště jsem vytvořil model svařovacího přípravku, který bude následně naimportován do SW RobotStudio.



Obr. 43 Svařovací přípravek – vlastní návrh

Svařovací přípravek je složen ze svařovaného rámu z ocelových profilů, na kterém jsou přivařeny další profily určené pro montáž upínek. Upínky pro jednotlivé svařence jsou složeny z modulů, které byly v maximální možné míře unifikovány. Upínky jsou ovládány pomocí 18 pneumatických pohonů, které jsou rozděleny do čtyř okruhů – upnutí trubky, doražení trubky, doražení konzole, upnutí konzole a U-profilu. Simulace upnutí těchto upínek bude zjednodušena na jeden okruh a bude probíhat v záložce Station Signals, pozice upnutí bude následně vyhodnocena a bez splnění této podmínky nebude možné spustit program.

Přípravek byl konstruován tak, aby se minimalizovalo riziko záměny dílů, jelikož konzole nohy stolu se používá v základní a zrcadlové verzi. Proto byl uplatněn princip Poka-joke, a senzor pro snímání přítomnosti konzole je umístěn tak, aby nedošlo k sepnutí signálu, při nasazení opačného dílu.



Obr. 44 Princip Poka-joke využitý při konstrukci přípravku

6.1.4 Svařovací zdroj

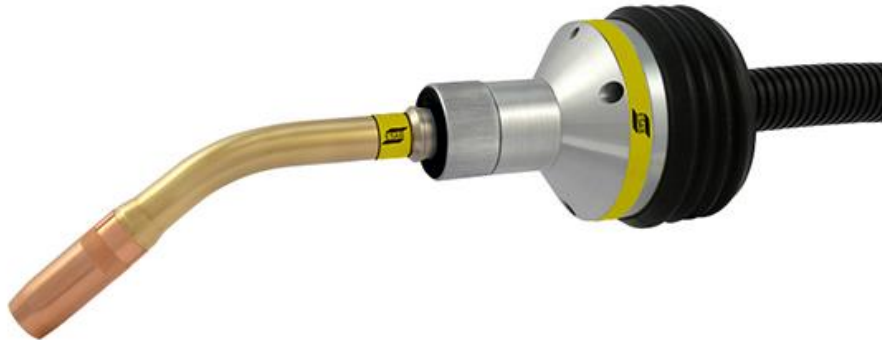
Pracoviště bude vybaveno svařovacím zdrojem Aristo™ Mig 5000i pro robotizovanou pracoviště od firmy ESAB. Jeho ovládání a řízení bude realizováno pomocí opce ArcWelding pro kontrolér IRC 5. [66]



Obr. 45 Svařovací zdroj ESAB Aristo™ Mig 5000i [35]

6.1.5 Svařovací hořák

Pro tuto aplikaci byl zvolen hořák Aristo™ RT62 s úhlem 45° od firmy ESAB, hořák se nachází v knihovně programu RobotStudio. Hořák je vhodný pro robot s interním vedením kabelového svazku a umožňuje natočení v rozmezí $\pm 220^\circ$. [70]



Obr. 46 Hořák ESAB Aristo™ RT62 45° [70]

6.1.6 Podavač svařovacího drátu

Další část svařovacího zařízení – podavač svařovacího drátu – jsem také použil z knihoven SW RobotStudio. Jedná se o typ Aristo™ RoboFeed 3004HW s upevňovací přírubou na robot IRB 2600ID. Podavač umožňuje posuv drátu o maximální rychlosti 25 m/min. [71]



Obr. 47 Robotický podavač drátu ESAB Aristo™ RoboFeed 3004HW [71]

6.1.7 Bezpečnostní zařízení

Fyzická ochrana pracoviště bude řešena bezpečnostním oplocením od firmy Troax, a to panely URSP, což jsou panely kryté ocelovým plechem o tloušťce 0,7 mm s povrchovou úpravou práškovou barvou. Jednotlivé panely budou spojeny pomocí sloupků z profilů 60x40 mm, vstup na pracoviště bude umožněn přes dveře vybavené bezpečnostním zámekem SAFE LOCK Level PL e podle EN ISO 13849-1 vhodným pro robotizovaná pracoviště. [72] [73]

Ochrana prostoru pro obsluhu zařízení v oblasti manipulace s výrobky bude řešena ochranou ve spodní vodorovné (vodorovně umístěna světelná závora) a přední svislé (svisle umístěná světelná závora) části prostoru pro obsluhu. Toto bezpečnostní zařízení bude realizováno pomocí produktů firmy SICK, konkrétně výrobky produktové řady deTec. [74]



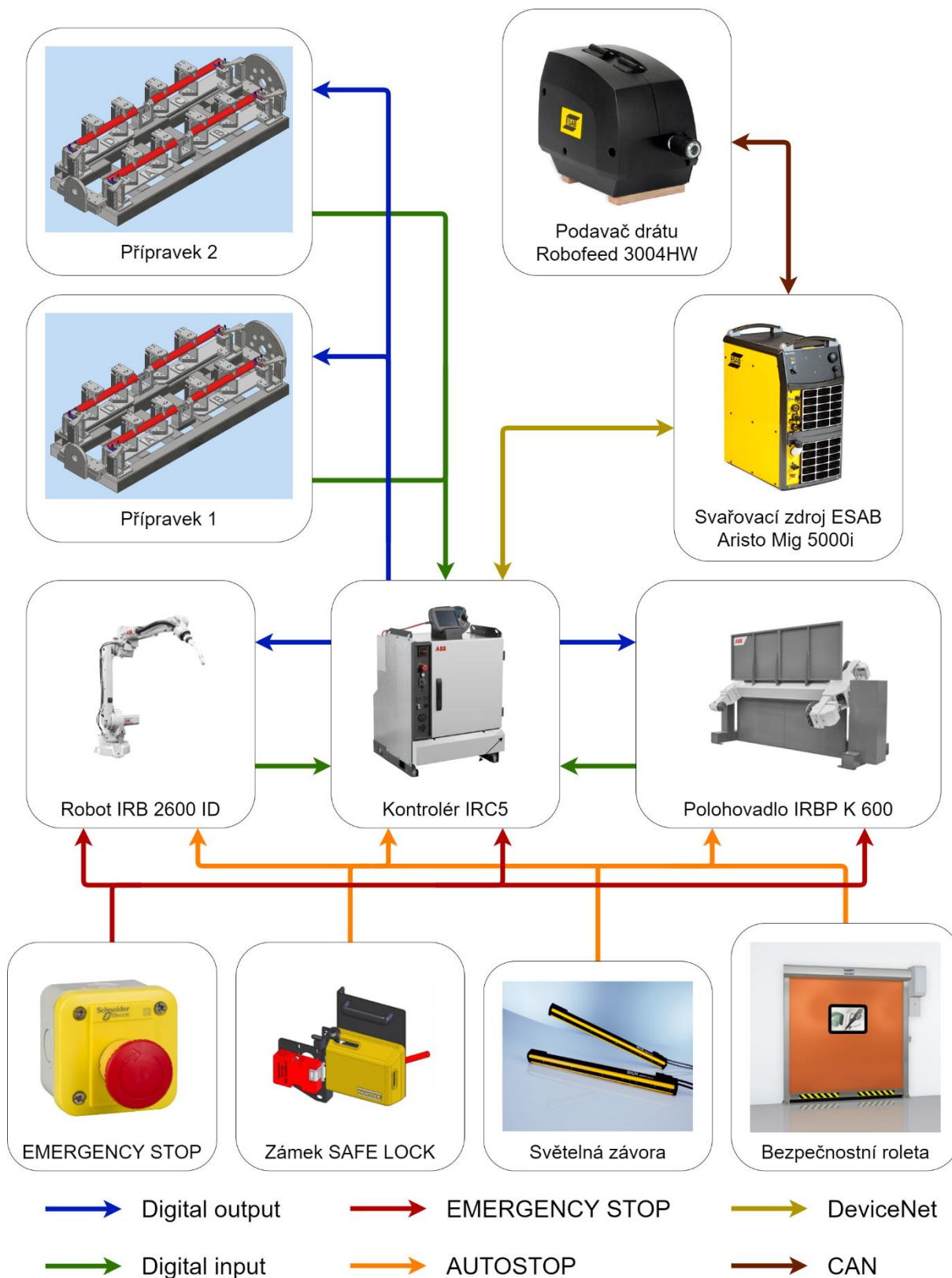
Obr. 48 Ochranný plný panel URSP [72] a dveřní díl se zámkem Safe Lock with Performance Level e GL - Guard Locked [73] od firmy TROAX



Obr. 49 Bezpečnostní světelné závěsy deTec od firmy SICK [74]

6.1.8 Řízení pracoviště

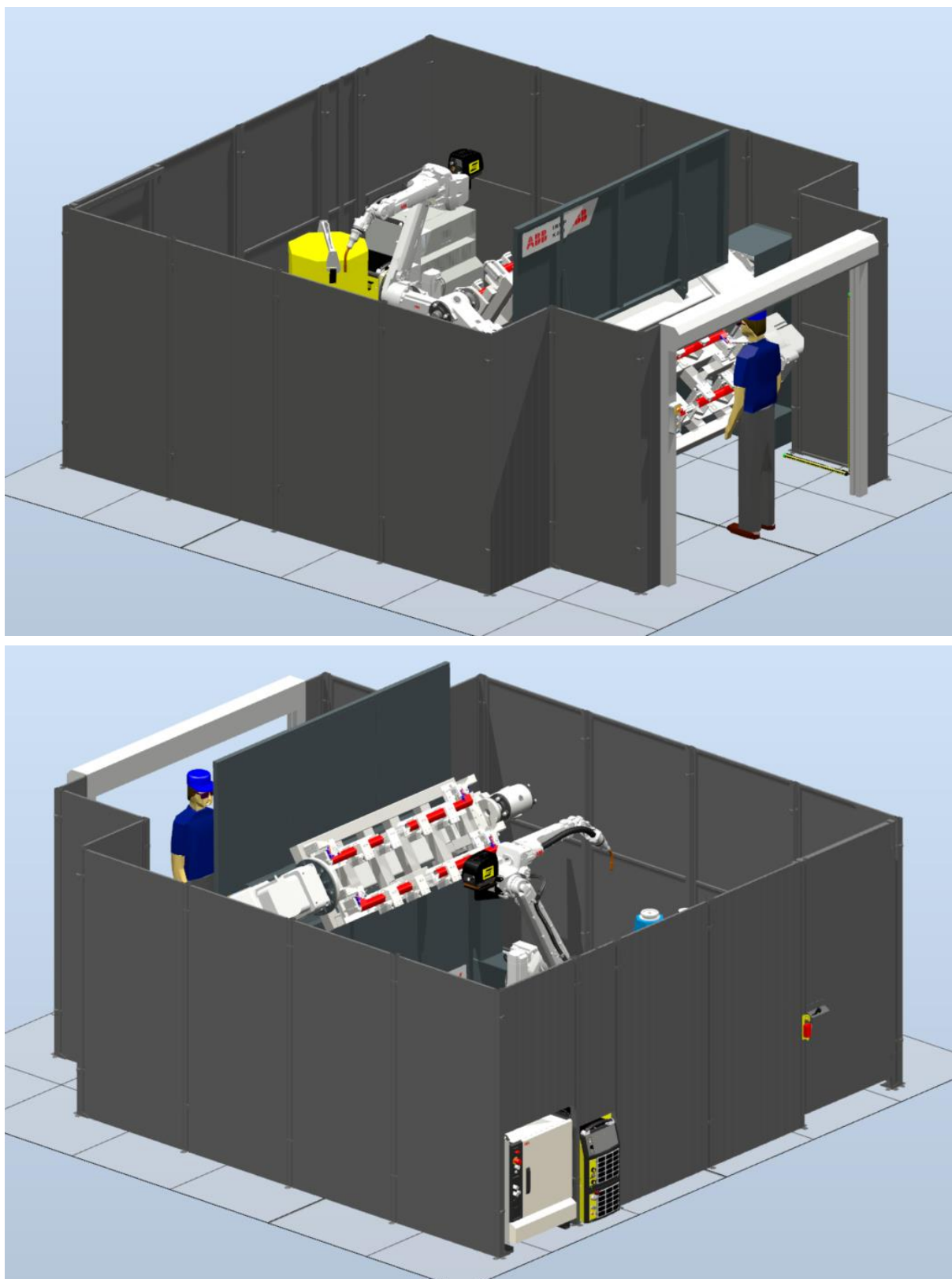
Řízení robotizovaného pracoviště bude realizováno přes kontrolér robota IRC 5. Dnešní kontroléry jsou vybaveny dostatečným výkonem pro řízení pracoviště, takže už není nezbytně nutné používat nadřazená PLC.



Obr. 50 Schéma řízení a komunikace pracoviště

6.1.9 Konečný model svařovacího pracoviště

Níže lze vidět konečný model pracoviště včetně bezpečnostních prvků a všech potřebných periferií. Tento model byl přenesen a následně dokončen v SW RobotStudio, kde bude probíhat jeho virtuální zprovoznění.



Obr. 51 Konečný model svařovacího pracoviště

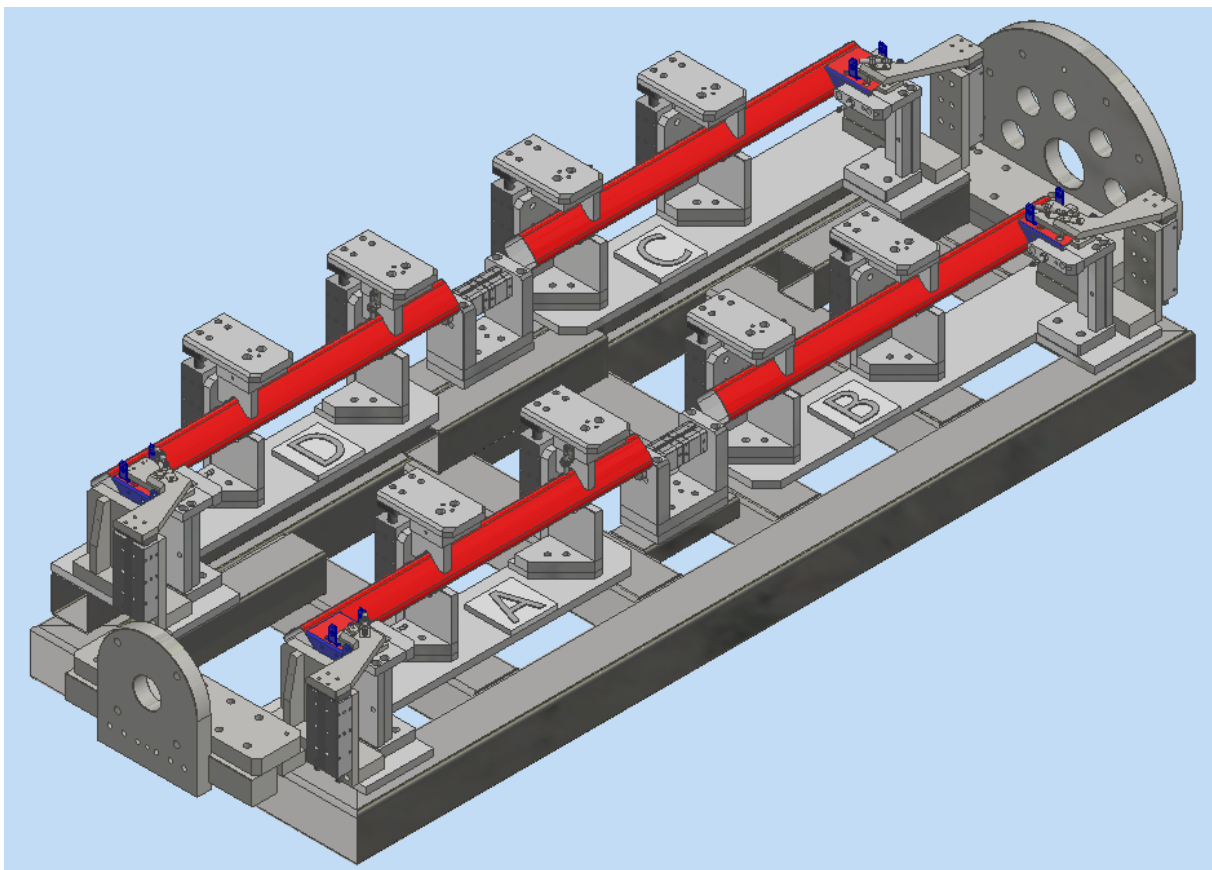
6.2 Definice signálů pro virtuální zprovoznění pracoviště

Pro virtuální zprovoznění daného pracoviště je nutné definovat signály nutné pro ovládání pracoviště, a to jak výstupní, pomocí kterých ovládáme jednotlivé komponenty na pracovišti, tak i ty vstupní, které nám dávají zpětnou vazbu o tom, že daný úkon proběhnul. Tyto signály by měly odpovídat skutečným na reálném pracovišti. U signálů nedefinují typ komunikace, ta může probíhat na různých protokolech – DeviceNet, PROFINET, Profibus, CANBus, EtherNET IP a další.

6.2.1 Polohovadlo a přípravek

Přípravek je pevně upevněn na polohovadle a natáčí se společně s ním. Je vybaven pneumatickými ventily s celkem 18 pneumatickými pohony, u nichž bude sledována pozice signalizující upevnění dílců svařence.

Dále bude pomocí funkce *Smart Component* definována hmotnost přípravku, pro zjednodušení nebudou definovány pohyby jednotlivých upínek. V reálné situaci by větší smysl dávalo řízení přípravku separátním PLC, které by ovládalo pneumatické ventily a pneumatické pohony a následně by vyhodnocovalo stav přípravků (přítomnost dílů, upnutí upínek).



Obr. 52 Svařovací přípravek – vlastní návrh

V tabulce 4 a 5 se nachází soupis signálů, které mají souvislost s polohovadlem a svařovacími přípravky. Signály v tabulce 4 jsou zjednodušeny na jeden výstup, což by odpovídalo reálnému provedení – separátní PLC pro řízení přípravků by vyhodnotilo signály ze senzorů a následně by poslalo jeden signál do kontroléru robota.

Typ signálu	Kód	Popis
Digital Input	Sen_Pneu_1_1 ÷ Sen_Pneu_1_18	Pneumatický válec 1.1 upnut ÷ Pneumatický válec 1.18 upnut
Digital Input	Sen_Pneu_2_1 ÷ Sen_Pneu_2_18	Pneumatický válec 2.1 upnut ÷ Pneumatický válec 2.18 upnut
Digital Output	ClampsClosed_1	Upínky 1 upnuty
Digital Output	ClampsClosed_2	Upínky 2 upnuty
Digital Output	OpenClamps_1	Upínky 1 otevřít
Digital Output	OpenClamps_2	Upínky 2 otevřít

Tab. 4 – Signály pro kontrolu upnutí pneumatických válců

Typ signálu	Kód	Popis
Digital Input	Sensor_A1_1	Noha A1 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_A1_2	Noha A1 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_A1_3	Noha A1 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_B1_1	Noha B1 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_B1_2	Noha B1 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_B1_3	Noha B1 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_C1_1	Noha C1 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_C1_2	Noha C1 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_C1_3	Noha C1 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_D1_1	Noha D1 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_D1_2	Noha D1 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_D1_3	Noha D1 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_A2_1	Noha A2 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_A2_2	Noha A2 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_A2_3	Noha A2 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_B2_1	Noha B2 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_B2_2	Noha B2 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_B2_3	Noha B2 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_C2_1	Noha C2 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_C2_2	Noha C2 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_C2_3	Noha C2 díl 3 na pozici
Digital Input	Sensor_D2_1	Noha D2 díl 1 na pozici
Digital Input	Sensor_D2_2	Noha D2 díl 2 na pozici
Digital Input	Sensor_D2_3	Noha D2 díl 3 na pozici

Tab. 5 – Signály pro kontrolu pozic

6.2.2 Svařování

Pro ovládání svařovacího zdroje mohou být využity signály, které obsahuje opce ArcWelding pro RobotWare pro řízení IRC5. Tyto přednastavené signály umožňují propojení s řízením svařovacího zdroje prakticky u každého výrobce svařovací techniky a následné nastavování parametrů svařování přímo z ovládacího panelu robota. Nicméně je zde možnost tyto signály nevyužívat a nastavování parametrů řešit přímo na svařovacím zdroji pomocí přednastavených listin, které jsou následně při svařování voleny robotem stejně jako spouštění a vypínání svařovacího zdroje. Jako třetí možnost je možné využít rozšíření pro RobotWare přímo od konkrétních výrobců svařovací techniky, kde jsou již signály pro svařování nastavené a pouze proběhne jejich namapování. Jelikož toto není cílem práce, nebude toto téma dále rozebírat.

6.2.3 Bezpečnostní okruh

Bezpečnost na pracovišti bude řešena roletou, světelnou závorou, bezpečnostním zámekem SafeLock a tlačítky Emergency Stop. Tato tlačítka budou vytvořena pomocí funkce *Smart Component*, stejně tak i zámek Safe Lock. Aby bylo zajištěno fungování této virtuální komponenty, bude třeba nastavit chování obdobně jako na reálném pracovišti. Signál z tlačítek Emergency Stop lze spustit uživatelem a pro opětovné spuštění pracoviště je zapotřebí jeho vrácení do výchozí, nezamáčknuté polohy, stejně jako v případě reálného tlačítka.

Zámek SafeLock umožňuje vstup k robotu pouze za předpokladu, že je vyslán signál k jeho odemčení. Pro potřebu simulace využijeme signál pro otevření zámku – v uzamčeném stavu bude signál roven 1, pro odemčení bude nastaven na nulovou hodnotu. Při signálu 0 bude rovněž pro robota a polohovač deaktivován signál Autostop, který brání v zapnutí pohonů robota a polohovačů.

Dále bude hlídána přítomnost osoby v prostoru nakládání – kontrolér bude vyhodnocovat, zda se při spouštění rolety nebo zavírání upínek nenachází operátor či jiná překážka u polohovačů, v opačném případě bude signál pro zavření upínek nebo spuštění rolety blokován.

Typ signálu	Kód	Popis
Digital Input	GateClosed	Brána zavřená
Digital Input	GateOpened	Brána otevřená
Digital Output	CloseGate	Zavřít bránu
Digital Output	OpenGate	Otevřít bránu
Digital Input	LockDoorOff	Odemčeny servisní dveře
Digital Output	LockDoorOff_1	Otevřít servisní dveře – signál 1
Digital Output	LockDoorOff_2	Otevřít servisní dveře – signál 2
Digital Input	LightBarrier_Down	Spodní světelná závara OK
Digital Input	LightBarrier_Up	Horní světelná závara OK

Tab. 6 – Bezpečnostní signály

6.2.4 Ovládací panel

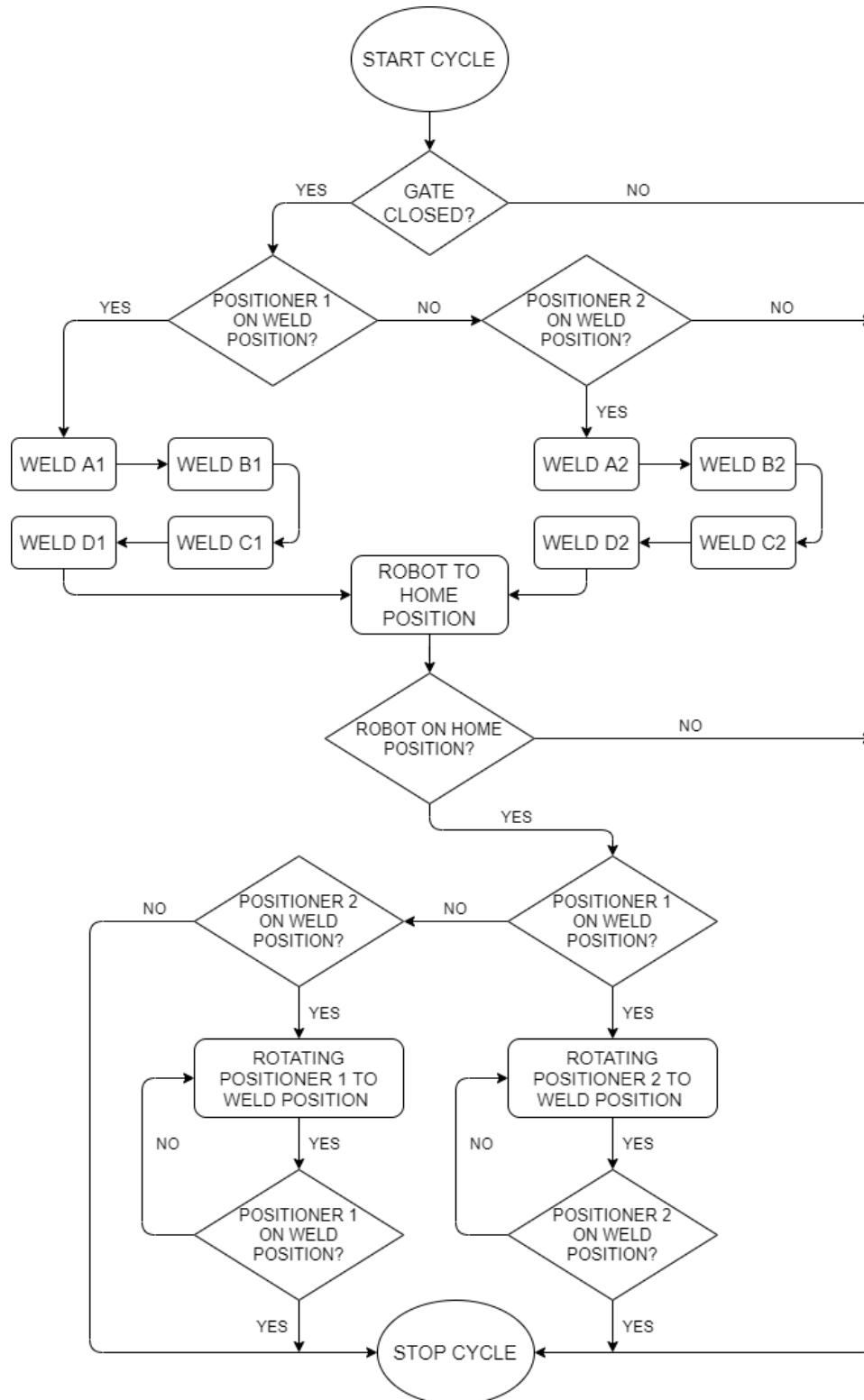
Na rámu rolety bude umístěn ovládací panel s bezpečnostním tlačítkem EMERGENCY STOP, dále tlačítko pro ovládání brány, tlačítko pro uzavření upínek a tlačítko STOP pro přerušení svařování. Signály pro zavření upínek a brány budou na reálném pracovišti provedeny jako pulsní signály, nikoliv jako trvale sepnuté.

Typ signálu	Kód	Popis
Digital Input	EmergencyStop	Signál pro EMERGENCY STOP – nouzové zastavení
Digital Input	CloseClamps_1	Zavřít upínky na přípravku 1
Digital Input	CloseClamps_2	Zavřít upínky na přípravku 2
Digital Input	Gate	Ovládání brány

Tab. 7 – Signály pro ovládání pracoviště operátorem

6.3 Tvorba programu

Pro virtuální zprovoznění daného pracoviště využiji jazyka RAPID, což je programovací jazyk využívaný v robotických systémech firmy ABB, a to z důvodu řízení celého pracoviště přes kontrolér robota IRC 5.



Obr. 53 Vývojový diagram svařovacího pracoviště

6.3.1 Popis programu

Po založení dílů obsluhou dojde po stisku tlačítka k uzavření upínek v postupném sledu dle jednotlivých okruhů, při tomto úkonu nesmí obsluha stát v prostoru snímaném pomocí světelných závor. Následně má obsluha možnost zkontrolovat upnutí dílců a v případě, že je potřeba provést úpravu jejich uložení, je možné upínky opětovně odepnout a dílce upravit. Pokud je uložení dílů v pořádku, obsluha zmáčkne tlačítko sloužící pro vysunutí rolety. Po vysunutí rolety dojde k odeslání informace do řízení robota o tom, že v prostoru nakládání se nenachází žádná osoba (detekce světelnými závorami) a nakládací prostor je chráněn před vstupem roletou. Následně mohou nastat dvě možnosti – buď dojde okamžitě k otočení polohovadla a spuštění cyklu, nebo bude polohovadlo vyčkávat v pozici, dokud robot nedokončí cyklus svařování na druhém přípravku.

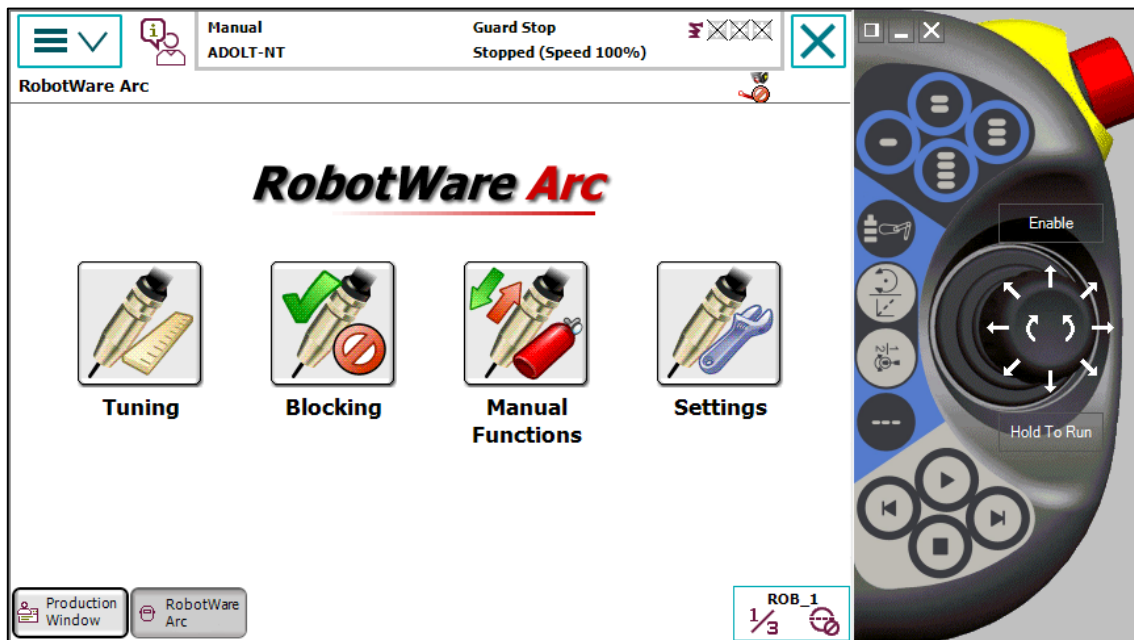
Po otočení polohovadla dojde k deaktivaci strany polohovadla na pozici nakládání pomocí příkazu *DeactUnit*, řízení odepne upínky a dojde k zasunutí rolety, aby obsluha mohla odebrat svařence a naložit nové dílce. Na druhé straně mezitím probíhá cyklus svařování. Robot čeká v pozici „Home“ na signál pro spuštění svařovacího procesu – ty jsou rozděleny dle jednotlivých noh na program *Leg_A1*, *Leg_B1*, *Leg_C1*, *Leg_D1* pro přípravek 1 a *Leg_A2*, *Leg_B2*, *Leg_C2* a *Leg_D2* pro přípravek 2, pořadí jednotlivých svařovacích programů je možné mezi sebou zaměnit. Mezi programy pro jednotlivé nohy jsou definovány *Jointtargety*, které jsou umístěny tak, aby nedošlo ke kolizi polohovadla s robotem. Výchozí natočení přípravku pro pozici na svařování je 0°, toto natočení se mění dle nastavení „*ABS Jointposition*“ v jednotlivých programech. Při přerušení programu dojde k zastavení robota i polohovadla a následně je nutné oba mechanismy uvést do výchozí pozice.

Pracoviště může také být vybaveno automatickou čističkou hořáku a špičky, která by byla řízena řízením robota a fungovala by v automatickém režimu závislém na počtu svarů. Následně by byl spuštěn například program „*Cleaning*“, který zahrnuje tryskání špičky a hubice svařovacího hořáku jemným abrazivem nebo frézování vnitřního prostoru hubice (v závislosti na dodavateli čisticí stanice) a následně nástřik špičky a hubice separační kapalinou. Ke kontrole počtu svarů a případnému spuštění programu „*Cleaning*“ dochází vždy po dokončení všech čtyř svařovacích programů na daném přípravku. Po dokončení programu „*Cleaning*“ robot odjíždí do pozice „Home“.

6.3.2 Uživatelské rozhraní

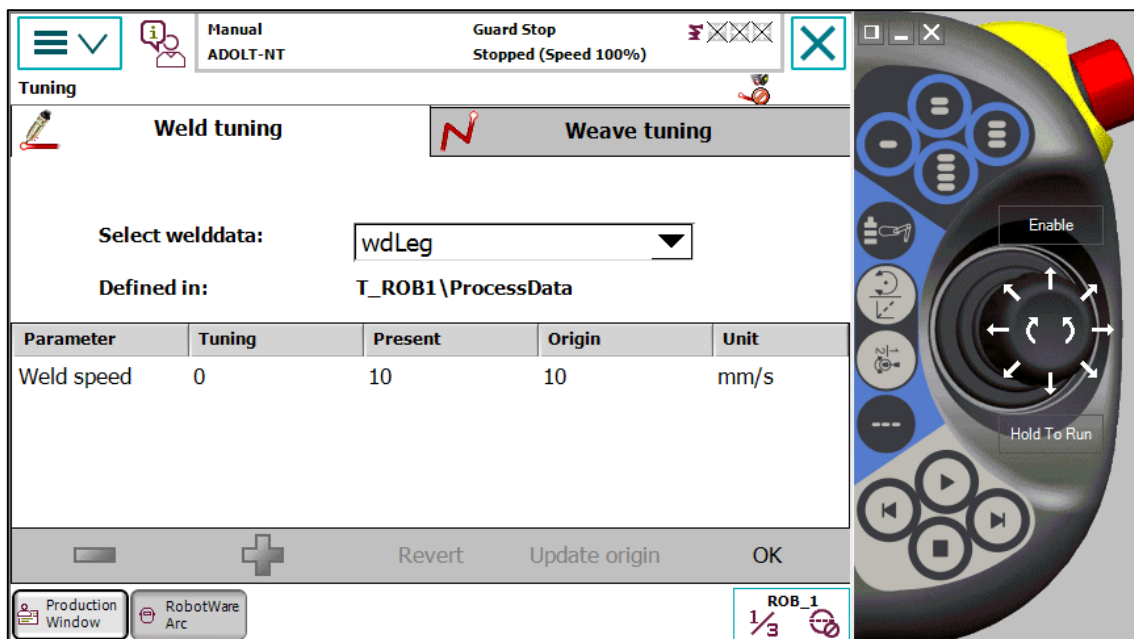
Ovládání svařovacích parametrů

Pro ovládání svařovacího zdroje a periferií, včetně jejich nastavování, lze využít vizualizaci dodávanou jako součást PowerPacku ArcWelding pro RobotWare řízení IRC 5.



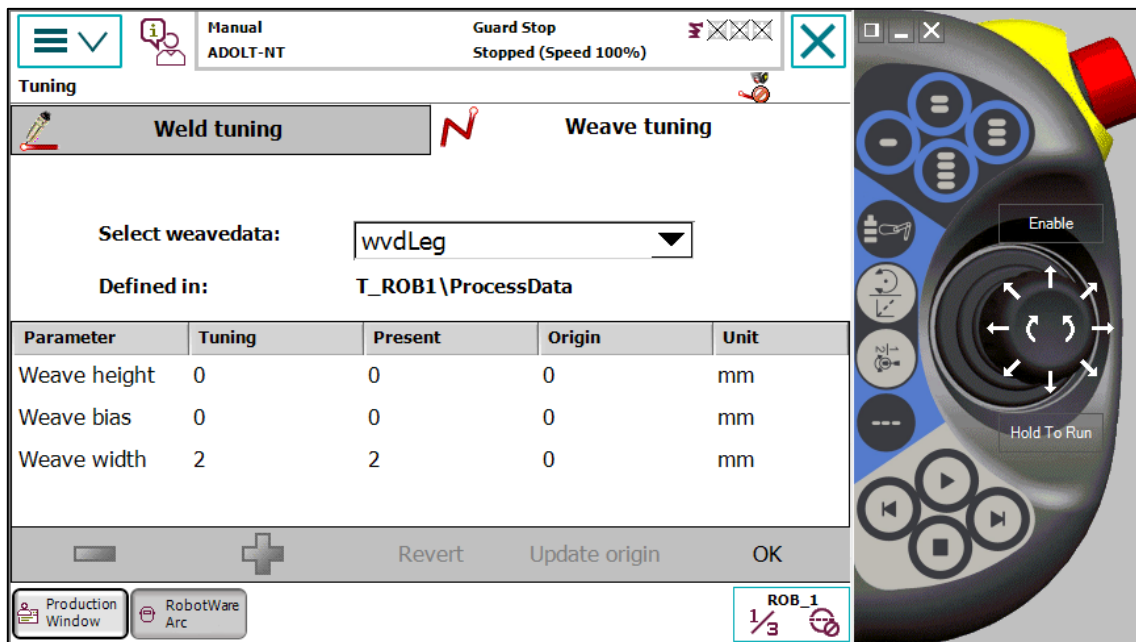
Obr. 54 Úvodní obrazovka

Je možné definovat svařovací listiny, které lze přiřazovat jednotlivým svarům, v záložce Weld tuning je možné nastavovat parametry svaru, a to dvěma způsoby – buď nastavením svařovací rychlosti, kdy si systém sám nastaví hodnotu svařovacího napětí a proudu na základě tloušťek svařovaných materiálů, nebo se hodnoty napětí a proudu nastaví přímo.



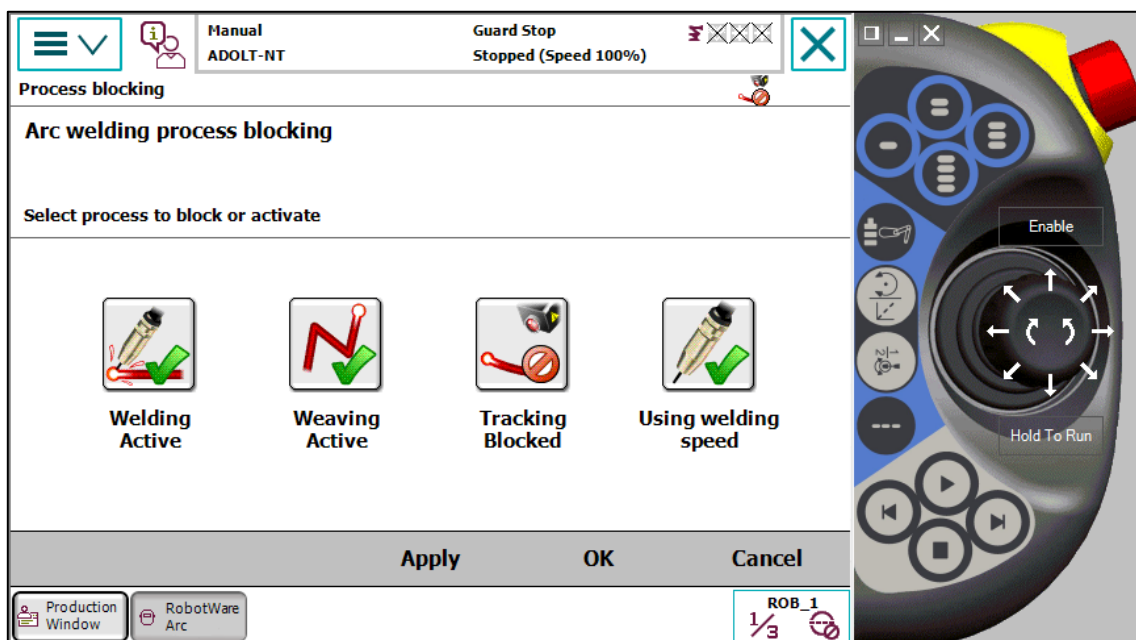
Obr. 55 Nastavení parametrů svaru

V záložce Weave tuning se nastavuje velikost vazby (weave), a to konkrétně výška, sklon a šířka vazby, opět je lze nastavit listiny pro jednotlivé vazby, které se mohou volit nezávisle na nastavené svařovací listině.



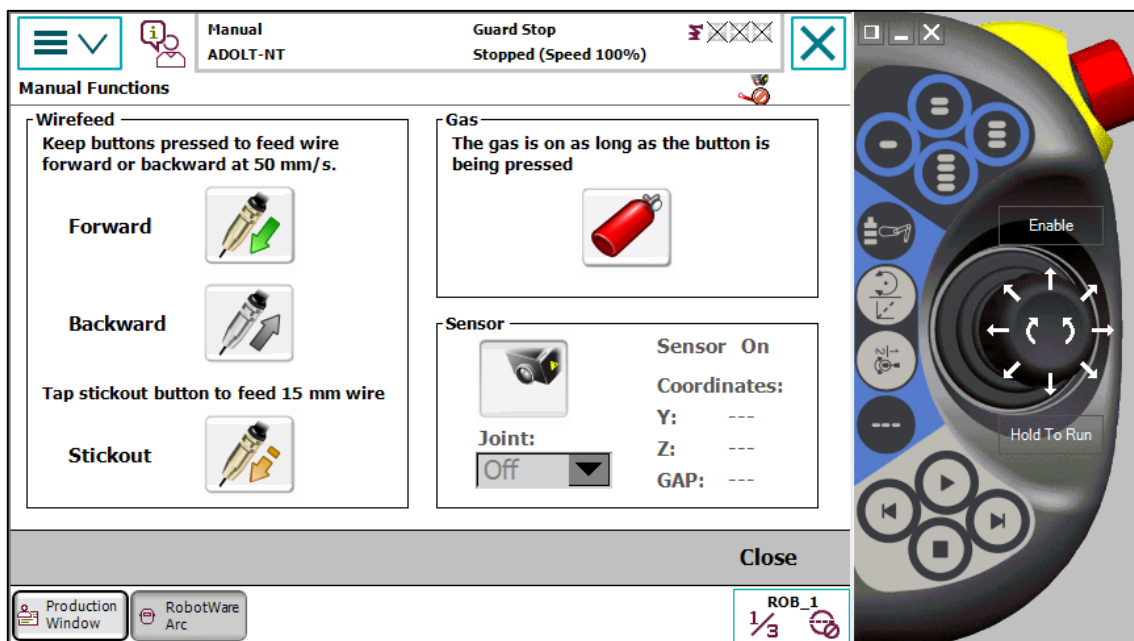
Obr. 56 Nastavení parametrů svaru 2

Také je možné jednotlivé procesy blokovat – lze blokovat samotné svařování (pro potřeby odzkoušení dráhy robota), blokovat vazbu (weaving), sledování svaru nebo nastavení parametrů přes svařovací rychlost.



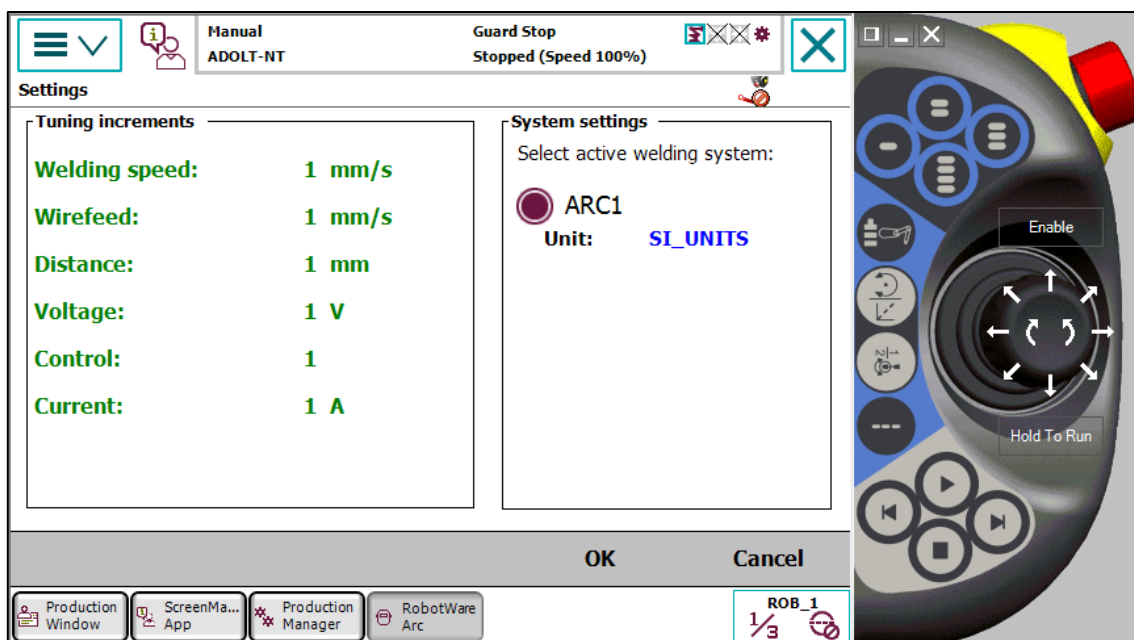
Obr. 57 Nastavení jednotlivých funkcionalit

System také nabízí manuální ovládání funkcí – vysouvání a zasouvání svařovacího drátu, manuální pouštění plynu, vysunutí 15 mm drátu stiskem jednoho tlačítka nebo informace ohledně sledování oblouku pro aktivní řízení.



Obr. 58 Manuální ovládání svařovacích periferií

Také lze nastavovat velikost přírůstků pro nastavení parametrů svařování – svařovací rychlosti, rychlosti podání drátu, velikosti mezery, napětí a proudu.

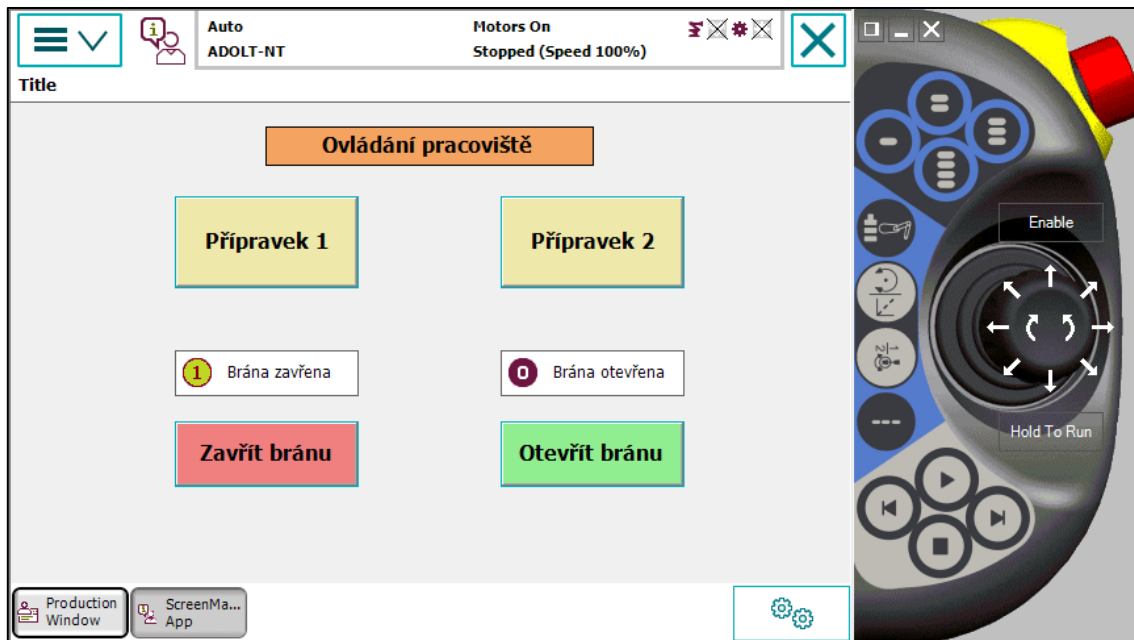


Obr. 59 Nastavení velikosti přírůstků jednotlivých parametrů

Ovládání přípravků

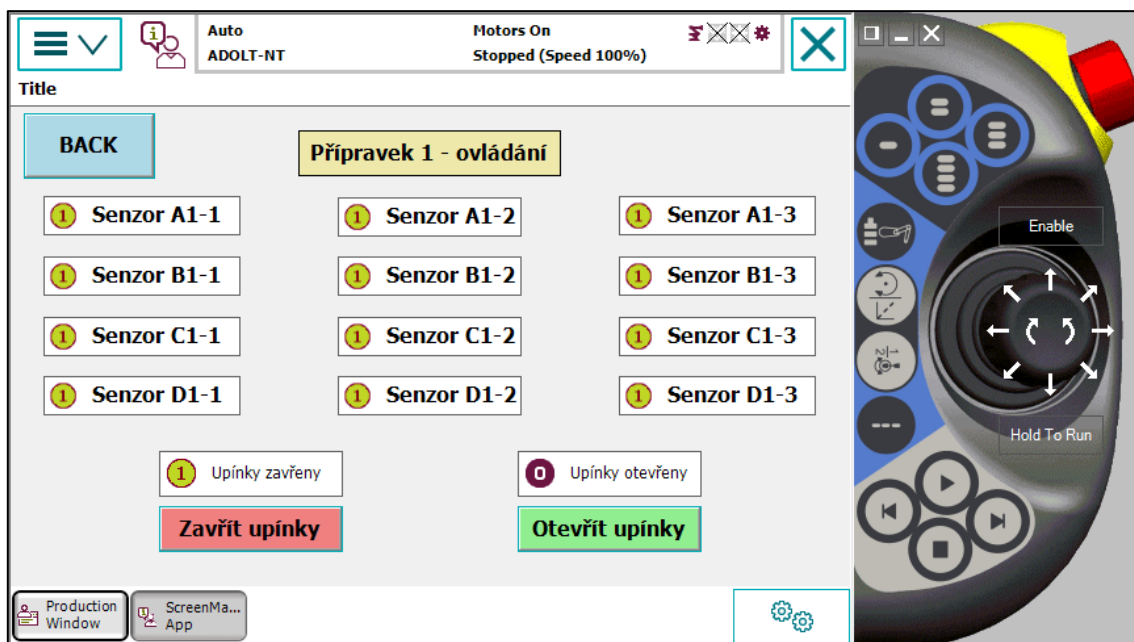
Pro ovládání přípravků jsem využil možnosti vytvořit vlastní obrazovku pomocí doplňku ScreenMaker jakožto součásti RobotStudia.

Úvodní obrazovka obsahuje tlačítka pro rozkliknutí ovládání jednotlivých přípravků, tlačítka pro ovládání brány včetně signalizace stavu zavřeno/otevřeno.



Obr. 60 Úvodní obrazovka pro ovládání pracoviště

Obrazovka pro ovládání samotného svařovacího přípravku signalizuje přítomnost jednotlivých dílů svařence, je možné ovládat zavření a otevření upínek, opět včetně signalizace.



Obr. 61 Obrazovka ovládání svařovacího přípravku

7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V této diplomové práci jsem se zabýval možnostmi virtuálního zprovoznění daného robotizovaného pracoviště. Pomocí multikriteriální analýzy byla vybrána nejvýhodnější konfigurace ze tří možných variant. Následně byl vytvořen 3D model daného pracoviště, který byl přenesen do SW RobotStudio od firmy ABB. Zde byla následně vytvořena simulace, která se snažila co nejvěrněji zachovat podobu s reálným pracovištěm.

Pro dané pracoviště byl vytvořen rámec bezpečnostních opatření odpovídajících požadavkům normy, což bylo nad rámec práce, nicméně se jedná o velmi důležitou část. Bezpečnost byla řešena zejména oplocením, světelnými závorami, krycí roletou, tlačítky Emergency Stop a blokování pohonů robota a polohovadla při otevřených servisních dveřích (zámek Safe Lock).

Pracoviště bylo řízeno robotickým kontrolérem IRC 5, ale nabízí se také možnost řízení pomocí PLC. Využití separátního PLC by mohlo být dvojí – buď jako nadřazené PLC pro řízení celého pracoviště, nebo jako pomocné PLC pro řízení přípravků, přičemž by toto PLC bylo podřízeno kontroléru robota. Nicméně toto nebylo součástí diplomové práce a reálné provedení je závislé na požadavcích zákazníka, případně na praxi výrobce robotizovaného pracoviště.

Svařovací přípravek byl vytvořen v podobě, ve které by mohl být realizován i ve skutečnosti, a to z důvodu, aby mohly být nastaveny dráhy robota co nejpřesněji pro všechny 4 svary dle výkresu. Stejně tak bylo důležité přesně určit počet senzorů přítomnosti materiálu, aby bylo možné tyto senzory zapracovat do modelu.

Jednotlivé signály pro pracoviště a jednotlivých komponent jsou zvoleny dle zkušeností s obdobnými pracovišti, případně byly využity signály, které nabízí opce ArcWelding pro RobotWare řízení IRC 5. Zvolené signály byly v modelu nastaveny tak, aby co nejvěrněji odpovídaly reálnému pracovišti. Vytvořený program je možné považovat za dobrý základ pro použití na skutečném pracovišti za předpokladu provedení nutných korekcí jednotlivých bodů.

Možnou variantou této práce by byla možnost výměnných přípravků, což by znamenalo řízení přípravků a tvorbu dalších receptur pro svařování, kdy by docházelo k automatickému rozpoznání a automatické volbě přednastavených parametrů.

8 ZÁVĚR

Cílem této závěrečné práce bylo virtuální zprovoznění robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování v prostředí SW RobotStudio od firmy ABB.

Samotná práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola se zabývá poznatkami z průmyslové robotizace, virtuálního zprovoznění a obloukového svařování. Druhá kapitola je věnována systémovému rozboru, kde jsou popsány principy obloukového svařování, vlivy působící při obloukovém svařování, vady svarů, části systému pro obloukové svařování a poslední část je vyhrazena bezpečnosti robotizovaných pracovišť.

V následujících dvou kapitolách byly navrženy 3 varianty pracovišť a pomocí multikriteriální analýzy byla vybrána nejvhodnější varianta. Tato byla následně zpracována do detailního 3D modelu daného pracoviště, byly popsány jednotlivé části tohoto pracoviště, a na základě předpokládané skladby jednotlivých procesů byl sestaven řídicí program. Virtuální pracoviště odpovídá reálnému pracovišti včetně signálů od jednotlivých komponent. Následně byl program odladěn a je možné říci, že virtuální zprovoznění proběhlo úspěšně a výsledný řídicí program by bylo možné implementovat do reálného pracoviště, čímž by se dosáhlo významné úspory času při implementaci, takže lze konstatovat, že cíle diplomové práce byly splněny.

Tato diplomová práce ukázala, že nástroje pro virtuální zprovoznění jsou velkým příslibem do budoucna a umožňují zjednodušení celého procesu návrhu a programování pracoviště i člověku, který s návrhem robotizovaných pracovišť nemá zkušenosti. Velkou výhodou je také to, že si při vytváření pracoviště programátor a konstruktér uvědomí vzájemné souvislosti a díky tomu je možné předejít chybám, které by byly náročnější na odstranění v okamžiku stavby pracoviště nebo samotného programování pracoviště. Plusem je také možnost prezentace pracoviště ve fázi návrhu zákazníkům, kteří mohou daný návrh připomínkovat. Další pozitivum skýtá možnost vyzkoušet inovativní návrhy pracovišť (například komplikované robotické výrobní linky v automotive průmyslu), jejichž reálné testování a zkoušení by bylo z finančního i časového hlediska nemožné nebo jen velmi obtížně realizovatelné.

Vzhledem k obsáhlosti celé problematiky virtuálního zprovoznění je jasné, že zdaleka nebyly využity všechny možnosti, které má tento software k dispozici, přesto si trůfám tvrdit, že v budoucnosti bude virtuální zprovoznění využíváno jako standardní nástroj při návrhu a zprovoznění reálných pracovišť.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Stručné dějiny průmyslové robotiky. In: *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2006, 1. leden 2006 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/strucne-dejiny-prumyslove-robotiky_14753.html
- [2] IFR Press Conference. In: *IFR.org* [online]. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf
- [3] Průmysl 4.0 - Introduction. In: *KUKA.com* [online]. Augsburg: KUKA AG, 2017 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/vyroba-v-budoucnosti/pr%C5%AFmysl-4,-d-,0/pr%C5%AFmysl-4,-d-,0-introduction>
- [4] Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu. *Industry Fórum* [online]. Praha: Siemens Česká republika, 2018, 27. 09. 2018 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.industryforum.cz/virtualni-zprovozeni-meni-budoucnost-prumyslu>
- [5] *Virtuální výroba* [online]. Praha: Siemens Industry Software, 2017 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://virtualnivyroba.cz/>
- [6] Rapid development, RT simulace, modelování. *REX CONTROLS* [online]. Plzeň: REX Controls [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.rexcontrols.cz/rapid-development-rt-simulace-modelovani>
- [7] Technologie pro návrh, verifikaci a validaci systémů. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2009, 24.06.2009 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-pro-navrh-verifikaci-a-validaci-systemu.html>
- [8] Automotive design: Fill hardware-in-the-loop gaps. In: *EETIndia* [online]. India: UBM Asia, 2015 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://archive.eetindia.co.in/www.eetindia.co.in/STATIC/ARTICLE_IMAGES/201507/500xNxEEIOL_2015JUL17_EMS_CTRL MPU_TA_01Fig1.gif.pagespeed.ic.54ygPaViKS.png
- [9] New features and enhancements in Tecnomatix Process Simulate. *SIEMENS BLOG* [online]. Siemens Industry Software, 2019 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/wp-content/uploads/sites/7/2019/09/Process-simulate-vidoe-image-2-1110x747.png>
- [10] KUKA.Sim. *KUKA.com* [online]. Augsburg: KUKA, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/pl%C3%AAnov%C3%A1n%C3%AD-projektov%C3%A1n%C3%AD-servis-bezpe%C4%8Dnost/kuka_sim
- [11] Produktový list RobotStudio® 2020. In: *ABB.com* [online]. Praha: ABB Group, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A4796&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>

- [12] ROBOGUIDE. In: *FANUC.eu* [online]. Praha: FANUC Czech, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/mbr-02857-ro%20roboguide%20brochure/roboguide%20brochure%20cz.pdf?la=cs>
- [13] Robotics Software MotoSim. In: *YASKAWA.eu.com* [online]. Allershausen: YASKAWA Europe, 2017 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://www.cz.yaskawa.eu.com/Global%20Assets/Downloads/Brochures_Catalogues/Robotics/software/Flyer_Software_MotoSimEG-VRC_E_08.2017.pdf
- [14] ROBOT SIMULATION SOFTWARE - K-ROSET. In: *Robotics.kawasaki.com* [online]. Tokyo: Kawasaki Heavy Industries, 2017 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/Kawasaki_K-ROSET_brochure.pdf
- [15] Engineer automated production systems using robotics and automation simulation. *Plm.automation.siemens.com* [online]. Siemens Industry Software, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/robotics-automation-simulation.html>
- [16] SprutCAM Robot. *SPRUTCAM.com* [online]. Naberezhnye Chelny: SPRUT Technology, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://cz.sprutcam.com/home/sprutcam-robot>
- [17] VISUAL COMPONENTS 4.2. *VISUALCOMPONENTS.com/* [online]. Espoo: Visual Components, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.visualcomponents.com/products/visual-components/>
- [18] Delfoi ARC. *DELFOI.com* [online]. Espoo: DELFOI, 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.delfoi.com/delfoi-robotics/delfoi-arc-2/>
- [19] RF::Suite. In: *EKS-InTec.com* [online]. Weingarten: EKS InTec, 2018 [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: https://www.eks-intec.com/flyer/RF_Suite_2018_english.pdf
- [20] Products. *WinMOD® for virtual commissioning - and more!* [online]. Hennigsdorf: Mewes & Partner, 2018 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://www.winmod.de/english/products/>
- [21] Průmyslové roboty. *KUKA.com* [online]. Augsburg: KUKA, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty?filters=07E08C3D56E14588A7109816DF2CC215,AB5112FEB2EC46C0973CFE47E06642BC,BC5CF007851B4AC992AFACBFBFF8E9D0,C8F6C174A35F4EA0A98250C3C199A977,4C1368D24F814647905B61ABC78E5F28>
- [22] Robotic Solutions for Welding Applications. *ABB.com* [online]. Curych: ABB Group, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industries/robot-welding>
- [23] Svařování a řezání. *YASKAWA.eu.com* [online]. Allershausen: YASKAWA Europe, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.cz.yaskawa.eu.com/products/robots/welding-cutting>

- [24] Svařování elektrickým obloukem. *FANUC.eu* [online]. Oshino: FANUC.eu, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-elektrick%C3%BDm-obloukem>
- [25] Industrial robots. *Panasonic INDUSTRY* [online]. Ottobrunn: Panasonic Industry Europe, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://industry.panasonic.eu/factory-automation/robot-welding-system-solutions/industrial-robots>
- [26] Welding robots. *Cloos.de* [online]. Haiger: Carl Cloos Schweisstechnik, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.cloos.de/de-en/products/qirox/welding-robots/>
- [27] ROBOTIZOVANÉ SVAŘOVÁNÍ. *Fronius.com* [online]. Wels: Fronius International, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/product-list?filter=2861>
- [28] TPS/i – The intelligent MIG/MAG welding system. *Fronius.com* [online]. Wels: Fronius International, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/product-information/mig-mag-welding-system-tpsi>
- [29] Automated Solutions. *LINCOLN ELECTRIC* [online]. Cleveland: The Lincoln Electric Company, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/Pages/automation.aspx>
- [30] Magnum® Pro Robotic Guns. *LINCOLN ELECTRIC* [online]. Cleveland: The Lincoln Electric Company, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/Pages/automation.aspx>
- [31] QINEO – Product Overview. In: *Cloos.de* [online]. Haiger: Carl Cloos Schweisstechnik, 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: [https://www.cloos.de/public/Newsletter/2019/QN3000-QINEO Produktuebersicht2019-EN.pdf](https://www.cloos.de/public/Newsletter/2019/QN3000-QINEO%20Produktuebersicht2019-EN.pdf)
- [32] Lorch Robotics. *Lorch smart welding* [online]. Auenwald: Lorch, 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.lorch.eu/cs/reseni/automatizace/robotics/>
- [33] S5 RoboMIG XT. *Lorch smart welding* [online]. Auenwald: Lorch, 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: [https://static.lorch.eu/Produktwelt/Lorch S SpeedPulse XT-Serie/schweissgeraet-s5-speedpulse-xt-lorch.png](https://static.lorch.eu/Produktwelt/Lorch_S_SpeedPulse_XT-Serie/schweissgeraet-s5-speedpulse-xt-lorch.png)
- [34] SVAŘOVACÍ AUTOMATIZACE A ROBOTIKA. *ESAB* [online]. Göteborg: ESAB, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/products/welding-automation-robotics/gas-metal-arc-welding-gmaw/index.cfm>
- [35] Svařovací zdroj ESAB Aristo™ Mig 5000i. In: *ESAB* [online]. Göteborg: ESAB, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.esab.co.uk/gb/en/products/welding-automation-robotics/gas-metal-arc-welding-gmaw/carriers-manipulators/robotics/aristo-mig-5000i-u5000i.cfm>

- [36] Arcpack for IRB 1410 New RPC arc welding package. In: *ABB Library* [online]. Curych: ABB Group, 2010 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105152A8492&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [37] SKS Weld Packages. *SKS Welding Systems* [online]. Kaiserslautern: SKS Welding Systems, 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://cz.sks-welding.com/weld-packages/>
- [38] Obloukové svařování. *ONEINDUSTRY.ONE* [online]. Brno: INFOCUBE, 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.one/lexikon/obloukove-svarovani/>
- [39] ČSN EN 4063. *Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Český normalizační institut, 2010, 24 s. Třídící znak 050011.
- [40] ŠÝKORA, Jan. *Svařování tlakových nádob moderními způsoby svařování* [online]. Brno, 2008 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6112. Bakalářská práce. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.
- [41] Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování, svařování plněnou elektrodou. In: *Schinkmann* [online]. Kosmonosy: Schinkmann, 2020 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/files/images/300/MiG.JPG>
- [42] FOLDYNOVÁ, Šárka. *Vady svarových spojů*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Ing. Martin Kraus, Ph.D.
- [43] Problémy při obloukovém svařování. In: *ESAB* [online]. Vamberk: ESAB, 2015 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: http://products.esab.com/ESABImages/defects_cz.pdf
- [44] ČSN EN ISO 6520-1. *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2008, 68 s. Třídící znak 050005.
- [45] Příručka svářeče. In: *AIR PRODUCTS* [online]. Děčín: AIR PRODUCTS spol. s r.o., 2014 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=c s-CZ
- [46] Svařování elektrickým obloukem. In: *Elektronická učebnice* [online]. Olomouc: Olomoucký kraj, 2014 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1806>
- [47] 8 výhod svařovacích robotů. *FACTORY AUTOMATION* [online]. Praha: FANUC Czech, 2017 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/8-vyhod-svarovacich-robotu/>
- [48] Robotizované svařování: rychlost, ale i problémy. *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2014 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/robotizovane-svarovani-rychlost-ale-i-problemy_26137.html

- [49] Současný vývoj v oblasti svařování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2018 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasny-vyvoj-v-oblasti-svarovani.html>
- [50] Weldguide IV datasheet. *ABB.com* [online]. Curych: ABB Group, 2019 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0163EN_B&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [51] Weldguide III presentation. *ABB.com* [online]. Curych: ABB Group, 2010 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105152A5218&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [52] Anatomy of a robot-based welding system. In: *The FABRICATOR* [online]. Elgin: FMA Communications, 2017 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/automationrobotics/anatomy-of-a-robot-based-welding-system>
- [53] Anatomy of a robot-based welding system. In: *The FABRICATOR* [online]. Elgin: FMA Communications, 2017 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://cdn.thefabricator.com/a/anatomy-of-a-robot-based-welding-system-1.jpg?size=1000x1000>
- [54] Svařovací zdroje. In: *INFORMAČNÍ WEB NEJEN PRO ŽÁKY OBORU STROJÍRENSTVÍ - MECHATRONIKA* [online]. Podbořany: Gymnázium a Střední odborná škola, 2010 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: https://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-12_svarovacizdroje.pdf
- [55] TECHNOLOGIE II - ČÁST SVAŘOVÁNÍ - ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. In: *ODBOR TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. Brno: VUT Brno, 2006 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_svarovani_tavne_kubicek.pdf
- [56] Svářečí invertory - pohled pod pokličku I. In: *SVARINFO.cz* [online]. Mělník: SVARWEB, 2006 [cit. 2021-01-22]. Dostupné z: <http://svarbazar.cz/phprs/zobrobr.php?image=../image/schemata/invertor2.gif&popis=Podrobn%C3%9B%20blokov%C3%9B%20sch%C3%9Bma%20invertoru>
- [57] Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svářeček. *SVARINFO.cz* [online]. Mělník: SVARWEB, 2008 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008020702>
- [58] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [59] MIG welding or Stick welding? In: *Hgcodedwelding.com* [online]. Ashill: HUGH Gibson: Engineering service, 2011 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.hgcodedwelding.com/Articles/mig-welding-or-stick-welding>

- [60] 10 kroků pro bezpečnost robotizovaných pracovišť podle odborníka. In: FACTORY AUTOMATION [online]. Praha: FANUC Czech, 2015 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-kroku-pro-bezpecnost-robotizovanych-pracovist-podle-odbornika/>
- [61] Bezpečnost robotických pracovišť. In: NÁRODNÍ CENTRUM PRŮMYSLU 4.0 [online]. Praha: Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky, 2020 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/aktuality/bezpecnost-robotickych-pracovist>
- [62] Produktové portfolio. In: SICK Česko | SICK [online]. Praha: SICK, 2021 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/c/products#g449151>
- [63] Bezpečnostní systémy Safe Robotics Area Protection. In: SICK Česko | SICK [online]. Praha: SICK, 2021 [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/bezpecnostni-systemy-a-reseni/bezpecnostni-systemy/c/g449152>
- [64] IRBP C Positioner. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2019 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10113EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [65] IRBP K Positioner. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2019 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10081EN_R5&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [66] IRBP R Positioner. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2019 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10111EN_R5&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [67] IRBP K Positioner. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2019 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://webimages.imagebank.abb.com/public/default/product/9AAC168866/preview>
- [68] IRB 2600ID Robot. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2018 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0205EN_A&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [69] IRB 2600ID Robot. In: ABB.com [online]. Curych: ABB Group, 2018 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://webimages.imagebank.abb.com/public/default/product/9AAC170268/presentation>
- [70] Svařovací hořák ESAB Aristo™ RT62 36°. In: ESAB [online]. Göteborg: ESAB, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.esab.co.uk/gb/en/products/welding-automation-robotics/gas-metal-arc-welding-gmaw/carriers-manipulators/robotics/aristo-rt-robotic-torches.cfm>
- [71] Robotický podavač svařovacího drátu ESAB Aristo™ RoboFeed 3004HW. ESAB [online]. Göteborg: ESAB, 2021 [cit. 2021-3-21]. Dostupné z:

<https://www.esab.co.uk/gb/en/products/welding-automation-robotics/gas-metal-arc-welding-gmaw/carriers-manipulators/robotics/aristo-robofeed-3004hw.cfm>

[72] PANEL FULL STEEL. In: *TROAX* [online]. Hillerstorp: Troax, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/cs/panel-full-steel?size=1440>

[73] SAFE LOCK PLE GL. In: *TROAX* [online]. Hillerstorp: Troax, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/cs/safe-lock-ple-gl>

[74] Bezpečnostní světelné závěsy deTec. In: *SICK Česko | SICK* [online]. Praha: SICK, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-svetelne-zavesy/detec/c/g461751>

10 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam zkratk

Big data	soubory dat, jejichž velikost je mimo schopnosti zachycovat, spravovat a zpracovávat data běžně používanými softwarovými prostředky v rozumném čase
IoT	Internet of Things, internet věcí
MIL	Model in the Loop
SIL	Software in the Loop
PIL	Processor in the Loop
HIL	Hardware in the Loop
PC	osobní počítač
SW	software
HW	hardware
CAD	Computer Aided Design
RSL	Robot Scripting Language
kg	kilogram
mm	milimetr
MIG/MAG	Metal Inert/Active Gas
TIG/WIG	Tungsten/Wolfram Inert Gas
LSC	Low Spatter Control
PMC	Pulse Multi Control
CMT	Cold Metal Transfer

10.2 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Počet celosvětově instalovaných průmyslových robotů v tisících celosvětově [2].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2 Počet ročních instalací průmyslových robotů v tisících celosvětově [2].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3 Rozložení průmyslových robotů dle zaměření v tisících celosvětově [2].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4 Rozložení průmyslových robotů v jednotlivých odvětvích v tisících celosvětově [2] ...</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5 Schéma metody MIL [8]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 6 Schéma metody SIL [8].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 7 Schéma metody PIL [8]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8 Schéma metody HIL [8].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9 Ukázka pracoviště vytvořeného v SW TECNOMATIX Process Simulate [9].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 10 Roboty KUKA KR CYBERTECH nano ARC a CYBERTECH ARC [21]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 11 Roboty ABB IRB 1520ID, IRB 1660ID a IRB 2600ID [22]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 12 Roboty YASKAWA řady AR a MC [23]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 13 Roboty FANUC řady ARC Mate [24]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 14 Roboty PANASONIC řady TL/TM/TS a LA [25]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 16 Robot CLOSS QIROX QRH [26].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 16 Svařovací zdroje Fronius TPS/i [28].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 17 Svařovací zdroj S5 RoboMIG XT [33]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 18 Svařovací zdroj ESAB Aristo™ Mig 5000i [35].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 19 Svařovací zdroj ABB RPC S-400 [36].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 20 Obloukové svařování metodou MIG/MAG [41]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 21 Vzdálenost mezi hubicí a svařovaným materiálem při MIG/MAG svařování [45]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 22 Úhel hořáku při svařování natupo a u koutových svarů [45].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 23 Úhel hořáku při svislém svařování [45]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 24 Velikost oblouku při MIG/MAG svařování [46].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 25 Adaptivní vyplňování svaru při změně šířky spáry [51]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 26 Schéma zapojení aktivního řízení oblouku do řízení IRC 5 [51]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 27 Schéma robotizovaného svařovacího pracoviště [53].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 28 Blokové schéma svařovacího invertoru [56].....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 29 Schéma ručního hořáku pro svařování metodou MIG/MAG [59].....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 30 Model svařence nohy</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 31 Výkres svařence nohy.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 32 Sestava pracoviště – Varianta A.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 33 Sestava pracoviště – půdorys Varianta A</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 34 Časový sled operací – odhad Varianta A [sec]</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 35 Sestava pracoviště – Varianta B.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 36 Sestava pracoviště – půdorys Varianta B</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 36 Časový sled operací – odhad Varianta B</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 38 Sestava pracoviště – Varianta C.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 39 Sestava pracoviště – půdorys Varianta C.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 40 Časový sled operací – odhad Varianta C</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 41 Polohovadlo ABB IRBP K-600 [67].....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 42 Svařovací šestiosý robot ABB IRB 2600ID [69]</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 43 Svařovací přípravek – vlastní návrh.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 44 Princip Poka-joke využitý při konstrukci přípravku</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 45 Svařovací zdroj ESAB Aristo™ Mig 5000i [35].....</i>	<i>55</i>

<i>Obr. 46 Hořák ESAB Aristo™ RT62 45° [70]</i>	56
<i>Obr. 47 Robotický podavač drátu ESAB Aristo™ RoboFeed 3004HW [71]</i>	56
<i>Obr. 48 Ochranný plný panel URSP [72] a dveřní díl se zámkem Safe Lock with Performance Level e GL - Guard Locked [73] od firmy TROAX</i>	57
<i>Obr. 49 Bezpečnostní světelné závěsy deTec od firmy SICK [74]</i>	57
<i>Obr. 50 Schéma řízení a komunikace pracoviště</i>	58
<i>Obr. 51 Konečný model svařovacího pracoviště</i>	59
<i>Obr. 52 Svařovací přípravek – vlastní návrh</i>	60
<i>Obr. 53 Vývojový diagram svařovacího pracoviště</i>	64
<i>Obr. 54 Úvodní obrazovka</i>	66
<i>Obr. 55 Nastavení parametrů svaru</i>	66
<i>Obr. 56 Nastavení parametrů svaru 2</i>	67
<i>Obr. 57 Nastavení jednotlivých funkcionalit</i>	67
<i>Obr. 58 Manuální ovládání svařovacích periférií</i>	68
<i>Obr. 59 Nastavení velikosti přírůstků jednotlivých parametrů</i>	68
<i>Obr. 60 Úvodní obrazovka pro ovládání pracoviště</i>	69
<i>Obr. 61 Obrazovka ovládání svařovacího přípravku</i>	69

10.3 Seznam tabulek

<i>Tab. 1 – Popis kritérií</i>	52
<i>Tab. 2 – Ohodnocení jednotlivých kritérií</i>	52
<i>Tab. 3 – Vyhodnocení variant</i>	52
<i>Tab. 4 – Signály pro kontrolu upnutí pneumatických válců</i>	61
<i>Tab. 5 – Signály pro kontrolu pozic</i>	61
<i>Tab. 6 – Bezpečnostní signály</i>	62
<i>Tab. 7 – Signály pro ovládání pracoviště operátorem</i>	63

11 SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha 1 – Program Module1</i>	<i>89</i>
<i>Příloha 2 – Program mService.....</i>	<i>91</i>

PŘÍLOHY

Příloha 1 – Program Module1

MODULE Module1

```
VAR bool STN1_OnProcess;  
VAR bool STN2_OnProcess;  
VAR num STN1_angle;  
VAR num STN2_angle;
```

PROC main()

```
ActUnit STN1;  
STN1_angle := ReadMotor(\MecUnit:=STN1, 1);  
DeactUnit STN1;  
IF  
STN1_angle<0.1 AND STN1_angle>-0.1 AND diClampsClosed_1 = 1  
AND diSensor_A1_1 = 1  
AND diSensor_B1_1 = 1  
AND diSensor_C1_1 = 1  
AND diSensor_D1_1 = 1 THEN  
STN1_InProcess;  
ENDIF  
  
IF  
STN1_angle<0.1 AND STN1_angle>-0.1 AND diClampsClosed_2 = 1  
AND diSensor_A2_1 = 1  
AND diSensor_B2_1 = 1  
AND diSensor_C2_1 = 1  
AND diSensor_D2_1 = 1 THEN  
TurningPositioner2;  
PulseDO doOpenGate;  
SetDO doCycleFinished,1;  
SetDO doOpenClamps_1,1;  
ENDIF  
  
IF  
STN1_angle<0.1 AND STN1_angle>-0.1 AND diClampsClosed_1 = 1  
AND diSensor_A1_1 = 1  
AND diSensor_B1_1 = 1  
AND diSensor_C1_1 = 1  
AND diSensor_D1_1 = 1  
AND diSensor_A2_1 = 0  
AND diSensor_B2_1 = 0  
AND diSensor_C2_1 = 0  
AND diSensor_D2_1 = 0 THEN  
TurningPositioner2;  
PulseDO doOpenGate;  
SetDO doCycleFinished,1;  
SetDO doOpenClamps_1,1;  
ENDIF
```

```

ActUnit STN2;
STN2_angle := ReadMotor(\MecUnit:=STN2, 1);
DeactUnit STN2;
IF
STN2_angle<0.1 AND STN2_angle>-0.1 AND diClampsClosed_2 = 1
AND diSensor_A2_1 = 1
AND diSensor_B2_1 = 1
AND diSensor_C2_1 = 1
AND diSensor_D2_1 = 1 THEN
STN2_InProcess;
ENDIF

IF
STN2_angle<0.1 AND STN2_angle>-0.1 AND diClampsClosed_1 = 1
AND diSensor_A1_1 = 1
AND diSensor_B1_1 = 1
AND diSensor_C1_1 = 1
AND diSensor_D1_1 = 1 THEN
TurningPositioner1;
PulseDO doOpenGate;
SetDO doCycleFinished,1;
SetDO doOpenClamps_2,1;
ENDIF

IF
STN2_angle<0.1 AND STN2_angle>-0.1 AND diClampsClosed_2 = 1
AND diSensor_A1_1 = 0
AND diSensor_B1_1 = 0
AND diSensor_C1_1 = 0
AND diSensor_D1_1 = 0
AND diSensor_A2_1 = 1
AND diSensor_B2_1 = 1
AND diSensor_C2_1 = 1
AND diSensor_D2_1 = 1 THEN
TurningPositioner1;
PulseDO doOpenGate;
SetDO doCycleFinished,1;
SetDO doOpenClamps_2,1;
ENDIF

IF
Number_Of_Welds>300 THEN
Cleaning;
ENDIF

ENDPROC

ENDMODULE

```

Příloha 2 – Program mService

MODULE mService

VAR num Number_Of_Welds;

PROC Home()

MoveAbsJ Home_10,v1000,z10,tRM62_45\WObj:=wobj0;

ENDPROC

PROC STN1_InProcess()

SetDO doCycleFinished,0;

STN1_OnProcess := TRUE;

Weld_Leg_A1;

Weld_Leg_B1;

Weld_Leg_C1;

Weld_Leg_D1;

Add Number_Of_Welds, 16;

DeactUnit STN1;

Home;

IF diSensor_A2_1 = 0 AND diSensor_B2_1 = 0 AND diSensor_C2_1 = 0 AND
diSensor_D2_1 = 0 THEN TurningPositioner2;

ELSE

WaitUntil diClampsClosed_2 = 1;

TurningPositioner2;

ENDIF

PulseDO doOpenGate;

SetDO doCycleFinished,1;

SetDO doOpenClamps_1,1;

STN1_OnProcess := FALSE;

ENDPROC

PROC STN2_InProcess()

SetDO doCycleFinished,0;

STN2_OnProcess := TRUE;

Weld_Leg_A2;

Weld_Leg_B2;

Weld_Leg_C2;

Weld_Leg_D2;

Add Number_Of_Welds, 16;

DeactUnit STN2;

Home;

IF diSensor_A1_1 = 0 AND diSensor_B1_1 = 0 AND diSensor_C1_1 = 0 AND
diSensor_D1_1 = 0 THEN TurningPositioner1;

ELSE

WaitUntil diClampsClosed_1 = 1;

TurningPositioner1;

ENDIF

PulseDO doOpenGate;

SetDO doCycleFinished,1;

SetDO doOpenClamps_2,1;

STN2_OnProcess := FALSE;

ENDPROC

```
PROC TurningPositioner1()
  WaitUntil diLightBarrier_Down = 1;
  WaitUntil diLightBarrier_Up = 1;
  WaitUntil diGateClosed = 1;
  Position1;
  PulseDO doOpenGate;
ENDPROC
```

```
PROC TurningPositioner2()
  WaitUntil diLightBarrier_Down = 1;
  WaitUntil diLightBarrier_Up = 1;
  WaitUntil diGateClosed = 1;
  Position2;
  PulseDO doOpenGate;
ENDPROC
```

```
PROC Position1()
  ActUnit INTERCH;
  MoveAbsJ Position1_10,v3000,fine,tRM62_45\WObj:=wobj0;
  DeactUnit INTERCH;
ENDPROC
```

```
PROC Position2()
  ActUnit INTERCH;
  MoveAbsJ Position2_10,v3000,fine,tRM62_45\WObj:=wobj0;
  DeactUnit INTERCH;
ENDPROC
```

```
PROC ManualTurning1()
  WaitDO doManualTurning_1,1;
  WaitUntil diLightBarrier_Down = 1;
  WaitUntil diLightBarrier_Up = 1;
  Position1;
ENDPROC
```

```
PROC ManualTurning2()
  WaitDO doManualTurning_2,1;
  WaitUntil diLightBarrier_Down = 1;
  WaitUntil diLightBarrier_Up = 1;
  Position2;
ENDPROC
```

PROC Cleaning()

```
MoveAbsJ Cleaning_10,v3000,z100,tRM62_45\WObj:=wobj0;  
MoveL Cleaning_20,v1000,fine,tRM62_45\WObj:=Cleaning_station;  
PulseDO doCleaning;  
WaitUntil diCleaning_Ready = 1;  
Number_Of_Welds := 0;  
MoveL Cleaning_30,v1000,fine,tRM62_45\WObj:=Cleaning_station;  
MoveJ Cleaning_40,v1000,fine,tRM62_45\WObj:=Cleaning_station;  
MoveL Cleaning_50,v1000,fine,tRM62_45\WObj:=Cleaning_station;  
MoveL Cleaning_60,v1000,fine,tRM62_45\WObj:=Cleaning_station;  
Home;
```

ENDPROC

ENDMODULE