

Simulace robotické svařovací linky ve virtuálním prostředí Process Simulate

Bc. Lukáš Svozil

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Svozil**
Osobní číslo: **A23527**
Studijní program: **N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Simulace robotické svařovací linky ve virtuálním prostředí Process Simulate**
Téma práce anglicky: **Simulation of robotic welding line in the Process Simulate virtual environment**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma robotika a robotické svařování.
2. Popište prostředí a práci v softwaru Process Simulate.
3. Navrhněte simulaci robotických pohybů a procesů linky.
4. Implementujte offline program na reálnou výrobní linku a proveďte optimalizaci s ohledem na rozdíly mezi simulací a skutečným prostředím.
5. Ověřte funkčnost navrženého řešení.
6. Diskutujte získané výsledky.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Jadran LENARČIČ a Manfred HUSTY. *Latest Advances in Robot Kinematics*. Dordrecht: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4619-0.
4. John J. CRAIG. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. *ROBOTY a robotizované výrobní technologie*. VUT v Brně: Nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

6. prosince 2024

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2025

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 6. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá simulací robotické svařovací linky v prostředí Process Simulate a následnou aplikací vytvořených programů pro reálnou výrobní linku. Práce popisuje kombinaci offline a online přístupu k programování průmyslových robotů. Díky využití simulace lze optimalizovat celý proces, minimalizovat riziko kolizí a zefektivnit přípravu výrobních operací, čímž dochází k úspoře času i finančních nákladů. Hlavní část práce se zaměřuje na tvorbu offline programů, jejich následnou implementaci do reálného provozu a ověření jejich funkčnosti.

Klíčová slova: Robotika, průmyslové roboty, simulace, offline programování, robotické svařování

ABSTRACT

The thesis deals with the simulation of a robotic welding line in the Process Simulate environment and the subsequent application of programs to a real production line. The thesis describes the now combination of offline and online approaches to programming industrial robots. Through the use of simulation, the entire process can be optimized, the risk of collisions can be minimized and the preparation of production operations can be streamlined, saving time and financial costs. The main part of the work focuses on the creation of offline programs, their subsequent implementation in real operation and verification of their functionality.

Keywords: Robotics, industrial robots, simulation, offline programming, robotic welding

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podporu a pomoc během zpracování této diplomové práce. Velké poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Alešovi Mizerovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a trpělivost, kterou mi věnoval. Poděkování patří také mé rodině a blízkým za jejich neustálou podporu, trpělivost a motivaci po celou dobu mého studia.

Zvláštní poděkování bych chtěl vyjádřit společnosti Chropýňská strojírna, a.s. za umožnění realizace praktické části práce a za cenné zkušenosti.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 ROBOTIKA.....	15
1.1 HISTORIE ROBOTIKY OD POČÁTKŮ PO SOUČASNOST	15
1.1.1 Počátky a první myšlenky	15
1.1.2 První mechanické stroje a automaty	15
1.1.3 Vznik moderní robotiky	16
1.1.4 Současnost.....	17
1.2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	18
1.2.1 Kartézská konfigurace.....	18
1.2.2 Antropomorfní konfigurace	19
1.2.3 SCARA konfigurace	20
1.2.4 Cyldrická konfigurace.....	20
1.2.5 Delta konfigurace	21
1.3 KONCOVÉ EFEKTORY	21
1.3.1 Úchopné hlavice.....	22
1.3.2 Technologické hlavice	24
1.3.3 Kombinované	25
1.4 PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	26
1.4.1 Programování Offline.....	26
1.4.2 Programování Online	27
2 ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ.....	28
2.1 TYPY SVAŘOVACÍCH PROCESŮ V ROBOTICE	28
2.1.1 Odporové bodové svařování	28
2.1.2 MIG/MAG svařování	31
2.1.3 Laserové svařování.....	34
3 PROCESS SIMULATE	37
3.1 PROCESS SIMULATE EMS VS STANDALONE	38
3.1.1 Process simulate on eMS	38
3.1.2 Process simulate Standalone	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 CÍLE PRÁCE	40
5 POPIS ROBOTICKÉ LINKY	41
5.1 KOMPONENTY ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ	42
5.1.1 Průmyslové roboty	42
5.1.2 Svařovací kleště	43
5.1.3 Fréza na frézování a výměnu čepiček	43
5.1.4 Senzor pro určení referenční polohy	44
5.1.5 Dokovací stanice	45

5.2	DIAGRAM POSLOUPNOSTI SVAŘOVÁNÍ.....	45
6	PRÁCE V PROCESS SIMULATE.....	47
6.1	NASTAVENÍ A OTEVŘENÍ STUDIE.....	47
6.2	UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	48
6.2.1	Object Tree	48
6.2.2	Operation Tree.....	48
6.2.3	Path Editor.....	49
6.2.4	Quick Access Toolbar	50
6.2.5	Pracovní plocha	50
6.3	KONFIGURACE ROBOTŮ	51
6.3.1	Nastavení Kontroléru	51
6.3.2	Konfigurace externích os.....	52
6.3.3	Definice svařovacích kleští	52
6.3.4	Definice Tool a Base	53
6.4	NÁVRH ROBOTICKÝCH PROGRAMŮ	54
6.4.1	Blokace mezi roboty.....	56
6.4.2	Export programů.....	57
7	KALIBRACE A SERVISNÍ PROGRAMY	58
7.1	KALIBRACE A PŘÍPRAVA ROBOTU NA PROVOZ	58
7.1.1	Justáž robotu.....	58
7.1.2	Uchycení kleští	59
7.1.3	Proměření TCP a báze	60
7.1.4	Silová kalibrace kleští	62
7.2	SERVISNÍ PROGRAMY.....	63
7.2.1	Frézování elektrodových čepiček	63
7.2.2	Výměna elektrodových čepiček	63
7.2.3	Kontrola elektrod svařovacích kleští.....	64
8	EXPORT A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI OFFLINE PROGRAMŮ.....	65
8.1	COLLISION VIEWER	65
8.2	EXPORT OFFLINE PROGRAMŮ.....	66
8.3	IMPLEMENTACE PROGRAMŮ	67
8.3.1	Testování drah	67
8.4	MOŽNOSTI DETEKCE CHYBNÉHO ZAKLÁDÁNÍ MATERIÁLU	68
8.4.1	Plug in řešení	69
8.4.2	Kontrola pomocí kamery	69
8.5	VYUŽITÍ FUNKCÍ „MIRROR“ A „INTERPOLATE LOCATION ORIENTATION“	70
9	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ	72
9.1	NÁVRŽENÉ OFFLINE PROGRAMY	72
9.2	KALIBRACE ROBOTU A ONLINE TVORBA POTŘEBNÝCH PROGRAMŮ	72

9.3	PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ OFFLINE PROGRAMŮ A NÁVRH OPATŘENÍ PROTI CHYBNÉMU UPNUTÍ SVAŘOVANÉHO MATERIÁLU	72
ZÁVĚR		73
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		74
SEZNAM OBRÁZKŮ		78
SEZNAM TABULEK.....		81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		82
SEZNAM PŘÍLOH.....		83

ÚVOD

V současnosti je robotizace nedílnou součástí průmyslové automatizace, která přináší výrazné zlepšení efektivity výroby, snižování nákladů a zajištění stabilní kvality. Zatímco průmyslové roboty se původně využívaly především v automobilovém průmyslu, dnes nacházejí široké uplatnění i v dalších odvětvích jako je logistika, zdravotnictví či vojenský sektor. S rostoucími požadavky na flexibilitu výroby je stále častěji využíváno programů sloužících k plánování a simulaci robotických aplikací. Tento přístup umožňuje nejen realistické testování a ověřování výrobních procesů v simulovaném prostředí, ale také jejich efektivní návrh již ve fázi plánování výrobní linky. Díky tomu lze optimalizovat rozmístění jednotlivých komponentů, předvídat možné kolize a eliminovat nutnost přerušení skutečného provozu, což minimalizuje řadu negativních důsledků.

V oblasti průmyslové automatizace nabývá offline programování na významu jako efektivní alternativa k tradičnímu online programování, přičemž obě metody se vzájemně doplňují. Umožňuje předběžnou tvorbu a optimalizaci drah robotů v simulačním prostředí, což minimalizuje časové nároky na ladění a testování ve výrobním procesu. Přesto však offline program nemusí plně odpovídat reálným podmínkám výroby, jelikož jeho přesnost ovlivňují faktory jako je kalibrace robotu, mechanické tolerance nebo vlivy okolního prostředí. Z tohoto důvodu je nezbytné finální korekce a kompenzace provádět přímo v provozu prostřednictvím online úprav.

Tato práce je rozdělena do osmi kapitol. Teoretická část se zaměřuje na historický vývoj robotiky, klasifikaci robotických manipulátorů a podrobnou typologií koncových efektorů. Následně je analyzována problematika programování průmyslových robotů, zahrnující metody offline a online. Dále jsou popsány jednotlivé typy svařovacích procesů v robotice. Závěr je věnován úvodu do softwaru Process Simulate, jeho funkcionalitám a základním verzím. Praktická část se zaměřuje na analýzu konkrétní robotické svařovací linky, která zahrnuje popis jednotlivých komponent, návrh a konfiguraci robotických trajektorií v prostředí Process Simulate a následnou verifikaci navržených offline programů v reálném výrobním procesu. Součástí práce je také příprava robotu na provoz, včetně kalibrace a tvorby servisních programů.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ROBOTIKA

Robotika je rozsáhlý multidisciplinární obor skládající se z oblasti řízení, počítačových technologií a měřicí techniky. Je zaměřen na snahu replikovat různé aspekty lidských funkcí prostřednictvím robotických systémů. Nedílnou součástí robotiky jsou i stále častější politicko-sociologické diskuze o důsledcích, které plynou z nahrazení lidské práce roboty. [1][2]

1.1 Historie robotiky od počátků po současnost

Vývoj robotiky jako multidisciplinárního oboru sahá až do antiky, kdy vznikly první mechanické figuríny, a pokračuje až k dnešním sofistikovaným robotickým systémům. Tento vývoj reflektoval technologický a společenský pokrok své doby a probíhal v několika etapách. [3]

1.1.1 Počátky a první myšlenky

V 1. století vytvořil Héron Alexandrejský dávkovací automat, který po vhození mince uvolnil přesně stanovené množství vody. Mezi další příklady patří Leonardo da Vinci, který jako dar pro Ludvíka XII. navrhl mechanického lva, který mohl chodit, třást ocasem ale také se dokázal postavit na zadní nohy. [3][3]

1.1.2 První mechanické stroje a automaty

V 18. století, díky významnému pokroku přírodních věd bylo možné realizovat složitější a komplexnější mechanické konstrukce. Například „robot“ flétnistky, jenž vytvořil francouzský mechanik Jacque de Vaucanson, který byl zkonstruován z trubek, měchů a kovového jazyka, přičemž dokázal hrát na flétnu. [3][5]

Roku 1770 se švýcarský vynálezce hodinek Pierre Jaquet-Droz společně se svým synem začal věnovat výrobě mechanických automatů pro šlechtické rody. Vytvořili například tři mechanické automaty – panenky, které měly jedinečné funkce. Hudebnici, která hraje na varhany, kreslíře, jenž dokáže nakreslit Ludvíka XV. a písaře (obr. 1), který je schopen napsat volitelný text o délce až 40 písmen. [6][7]



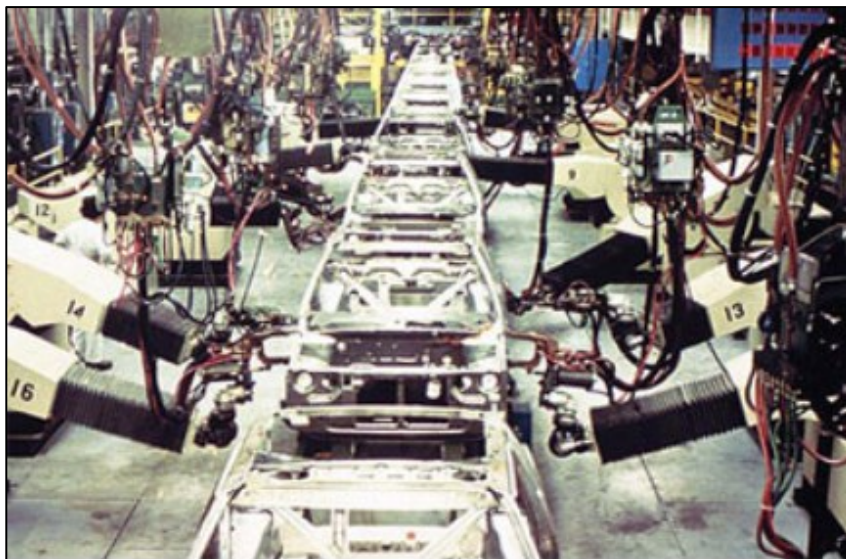
Obrázek 1: Mechanický automat ve formě
písaře [5]

1.1.3 Vznik moderní robotiky

Karel Čapek v roce 1921 poprvé uvedl slovo „robot“ ve svém díle Rossum's Universal Robots (R.U.R), které se stalo známým po celém světě. S pojmem „robot“ následně pracoval Isaac Asimov ve své krátké povídce Obtékání, kde definoval tři zákony robotiky: [3][7]

1. Robot nesmí ublížit lidské bytosti nebo nečinností dovolit, aby lidské bytosti bylo ublíženo.
2. Robot musí poslouchat rozkazy dané lidmi, kromě případů, kdy by tyto příkazy byly v rozporu s Prvním zákonem.
3. Robot musí chránit svoji existenci, dokud taková ochrana není v rozporu s Prvním nebo Druhým zákonem.

Na počátku šedesátých let 20. století vyvinula firma Unimation první průmyslové roboty s názvem UNIMATE (obr. 2), které byly v roce 1969 instalovány ve výrobě společnosti General Motors v Lordstownu, Ohio. Díky integraci robotů do výrobního procesu byl závod schopen zdvojnásobit svoji produkci, což znamenalo více než dvojnásobek rychlosti výroby jakéhokoli tehdy existujícího automobilového závodu. [3][8][9]



Obrázek 2: Použití UNIMATE ve výrobní lince [9]

V druhé polovině 20. století se robotika začala rozvíjet díky významným pokrokům v oblasti počítačové techniky a mikroprocesorů. Postupně se objevily první roboty od firem, které dnes patří k lídrům v oblasti průmyslové robotiky jako je Kuka, ABB nebo Fanuc. [10]

1.1.4 Současnost

Robotika v současnosti zahrnuje široké spektrum oblastí od automatizace v průmyslu a kolaborativních robotů, přes umělou inteligenci až po autonomní technologie ve zdravotnictví nebo zemědělství. [11]

Jednou z pokročilých technologií jsou humanoidní roboti, jakožto plně autonomní mobilní roboti. Jejich konstrukce je velmi složitá, protože zahrnuje mimořádně pokročilé systémy pro pohyb nohou a paží, které jsou řízeny sofistikovanými řídicími algoritmy. Ačkoliv je toto odvětví robotiky extrémně náročné na vývoj, otevírá možnosti pro vznik robotů schopných vykonávat lidské úkoly v různém prostředí. [11]

Neopomenutelnou součástí je i vojenská robotika, která díky válce na Ukrajině získává na stále větším významu. Ukrajínští představitelé umožňují firmám testovat jejich robotické systémy v reálných bojových podmínkách (obr. 3), což urychluje jejich vývoj a implementaci do vojenských operací. [12]



Obrázek 3: Pozemní bojový dron [13]

1.2 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty lze popsat jako programovatelné roboty uzpůsobené pro integraci v různých výrobních aplikacích, kde je kladen důraz na opakovatelnost a vysoké technologické standardy. Jsou ovládány řídicí jednotkou a osazeny řadou vnějších i vnitřních senzorů, díky kterým detekují svou polohu os v souřadnicovém systému. Existuje několik druhů robotů, které mají na základě své konfigurace specifický pracovní prostor. [3][8]

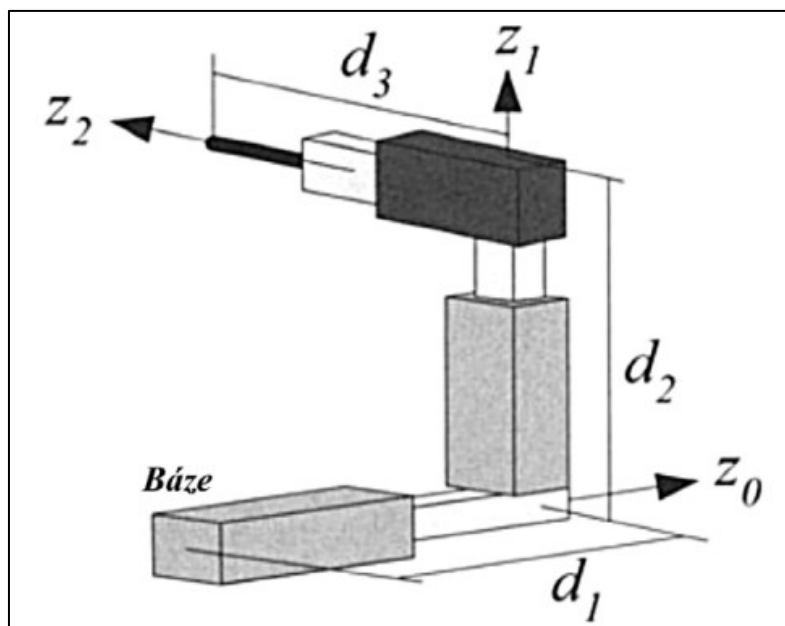
Pracovní prostor robotu je definován jako objem prostoru, do kterého může koncový efektor robotu dosáhnout. Tento prostor se dělí na dvě hlavní části:

Dosažitelný prostor – představuje objem pracovního prostoru, ve kterém je každý bod dosažitelný koncovým efektem alespoň při jedné orientaci efektoru. [8]

Pohotovostní prostor – zahrnuje všechny body, které jsou dosažitelné koncovým efektem při všech jeho možných orientacích. [8]

1.2.1 Kartézská konfigurace

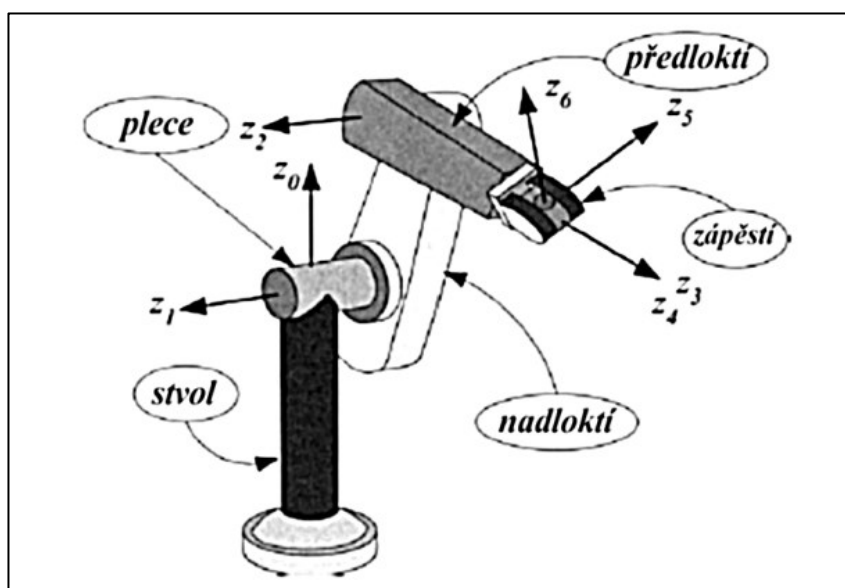
Kartézské (obr. 4), portálové nebo také lineární roboty jsou charakterizovány třemi translačními pohyby v pravoúhlém souřadnicovém systému. Díky konstrukci této konfigurace je dosaženo vysoké tuhosti, což vede k vynikající přesnosti a opakovatelnosti. Kartézské roboty jsou tak považovány za ideální nejen pro různé typy montážních operací, ale i pro efektivní manipulaci s náklady. [8][13]



Obrázek 4: Kartézská konfigurace [8]

1.2.2 Antropomorfní konfigurace

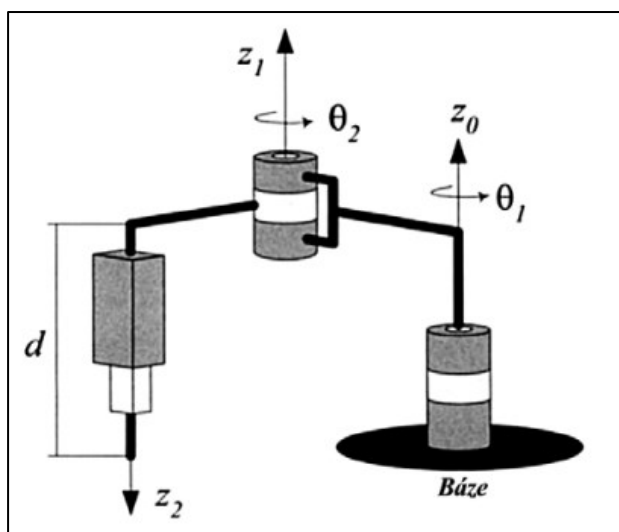
Antropomorfní roboty (obr. 5) patří mezi nejpoužívanější a nejvíce všestranné průmyslové roboty. Jsou tvořeny několika klouby, které umožňují pohyblivost podobnou lidské paži. Většina robotů tohoto uspořádání má šest stupňů volnosti, což zvyšuje jejich flexibilitu. Tato konstrukce robotů nachází široké uplatnění v automobilovém průmyslu, kde jsou často implementovány, například pro různé druhy svařování. [13]



Obrázek 5: Antropomorfní konfigurace [8]

1.2.3 SCARA konfigurace

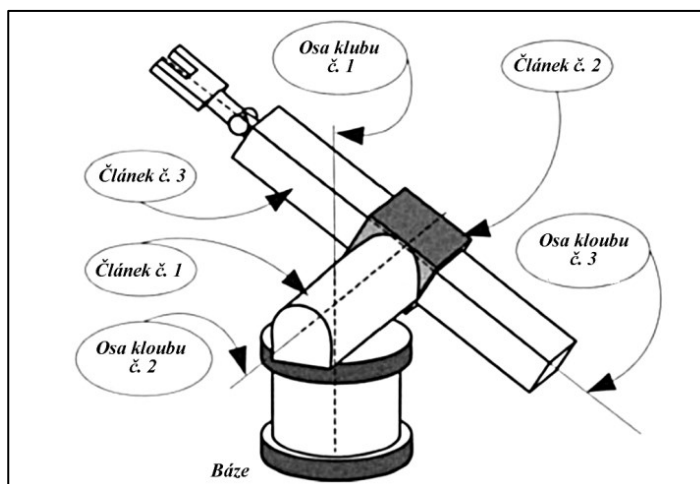
Uspořádání typu SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) zahrnuje zejména dva rotační klouby a jeden translační kloub pro pohyb ve vertikální rovině (obr. 6). Optimální uspořádání kloubů zajišťuje vysokou pevnost a pohyblivost ve vertikálním a horizontálním směru. Využívá se především pro rychlé a přesné úkony v jedné rovině jako je například montáž nebo operace typu „pick and place“. Nevýhodou robotů typu SCARA je omezená nosnost. [13]



Obrázek 6: Konfigurace typu SCARA [8]

1.2.4 Cylindrická konfigurace

Cylindrické uspořádání se skládá ze tří kloubů, kde první rotuje kolem základny a zbylé dva jsou translační (obr. 7). Díky kombinaci lineárního a rotačního pohybu mohou roboty s tímto uspořádáním spolehlivě a přesně plnit rozmanité úkoly. Vynikající pohybové vlastnosti činí tento robot ideálním pro paletizační a manipulační operace. [8][13]



Obrázek 7: Cylindrická konfigurace [8]

1.2.5 Delta konfigurace

Kombinace tuhosti a nízké setrvačnosti vede k přesným vysokorychlostním pohybům, jenž představují delta roboty s paralelní kinematikou (obr. 8). Roboty jsou ukotveny nad pracovní zónu pomocí pevného trojúhelníkového rámu, z něhož vychází tři ramena se servomotory, označována jako bicepsy. Na jejich konci jsou ramena spojena do tvaru rovnoběžníku. Delta roboty jsou používány převážně ve vysokorychlostních „pick and place“ operacích. [13][15]



Obrázek 8: Delta konfigurace [13]

1.3 Koncové efekторы

Koncový efektor, umístěný na posledním článku vykonává požadované úkony robotu, jako je uchopení objektu nebo různé technologické operace. Ramena robotu slouží k přesnému polohování koncového efektoru nebo nástroje, zatímco zápěstí je zodpovědné za orientaci efektoru, čímž umožňuje vykonávání konkrétních operací a činností. [8]

V závislosti na povaze úkolu může efektor vykonávat činnosti, jako například: [8]

1. montážní operace
2. uchopení a přesun objektů
3. provádění technologických úkonů
4. testování a inspekce

Existuje široká škála různých typů efektorů, které se liší svou funkcí. Tyto efekторы se obvykle dělí do následujících kategorií: [8]

- a) úchopné
- b) technologické
- c) kombinované

1.3.1 Úchopné hlavice

Koncové manipulační efekторы, nebo také „chapadla“ jsou jedním z nejběžněji používaných typů koncových efektorů v robotice, umožňující bezpečné uchopení a stabilní držení předmětů. Primární funkcí chapadel je zajištění opakovatelných a přesných operací při zvedání, přemísťování a manipulaci s objekty. Části chapadel, které jsou v přímém dotyku s manipulovanými objekty, se nazývají úchopné prvky. [16]

Na základě způsobu styku s objekty se dělí na různé typy pasivních a aktivních úchopných prvků. [16]

Mechanické úchopné prvky

Mezi pasivní mechanické prvky jsou řazeny jak jednoduché komponenty, jako jsou prizmatická lůžka, podpěry, nebo i sofistikovanější řešení, například čelisti s odpružením. K uchopení předmětu dochází využitím dopředného pohybu ramene, zatímco k jeho uvolnění po uchopení jiným manipulátorem se využívá pohyb zpětný. Naopak externí zdroje energie jsou využívány aktivními mechanickými prvky k vykonání činnosti, jako jsou pneumatické, hydraulické nebo elektrické upínače (obr. 9). [3]



Obrázek 9: Variace aktivních mechanických úchopných prvků
[17]

Magnetické úchopné prvky

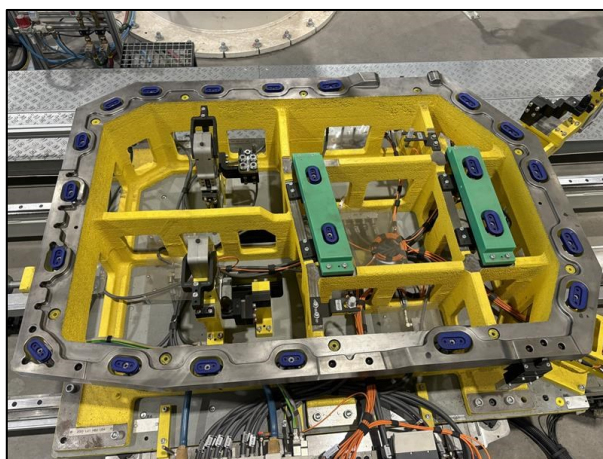
Pasivní magnetické prvky (obr. 10) jsou především tvořeny permanentními magnety, přičemž magnetické pole je využíváno k uchopení feromagnetických materiálů. Tyto pasivní prvky jsou z většiny doplněny jinými systémy, které umožňují uvolnění uchopených předmětů. Aktivní magnetické prvky jsou tvořeny elektromagnety, napájenými stejnosměrným proudem. Pro uvolnění předmětů již není vyžadováno použití dalších mechanismů, postačuje provedení odmagnetování – krátkodobé obrácení směru proudu ve vinutí cívek. [3]



Obrázek 10: Vlevo pasivní a vpravo aktivní magnetický úchopný efektor [18]

Podtlakové úchopné prvky

Pasivní podtlakové úchopné prvky jsou tvořeny flexibilními přísavkami, ve kterých je vytvářen podtlak díky jejich schopnosti deformovat se, čímž dochází ke změně objemu vnitřního prostoru přísavky. Podtlak pro aktivní podtlakové úchopné prvky je vytvářen podtlakovými pumpami nebo čerpadly. Tyto prvky jsou ideální pro manipulaci s hladkými a rovnými objekty (obr. 11), avšak nejsou vhodné pro hranaté, nepravidelné nebo těžší předměty, kde je obtížné zajistit dostatečný kontakt po celé ploše přísátého objektu. [3][16]



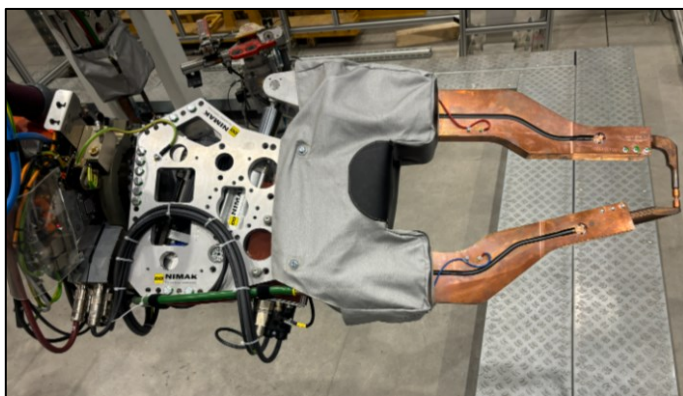
Obrázek 11: Lemovací lože s podtlakovými přísavkami [vlastní zdroj]

1.3.2 Technologické hlavice

Specifické úkoly v rámci technologických procesů jsou vykonávány koncovým technologickým efektozem, umístěným na posledním článku ramene robotu. Efektor může mít různé podoby v závislosti na specifických úkolech, přičemž nástroje mohou být navrženy tak, aby je bylo možné během výroby střídat dle aktuálních požadavků. K technologickým efektorům patří nejen samotné nástroje, ale i zdroje energie či materiály potřebné pro daný technologický proces. [3][16]

Hlavice pro bodové odporové svařování

Hlavice pro bodové odporové svařování (obr. 12) je zařízení, které se používá k vytvoření svařovacích bodů mezi dvěma kovovými díly. Tento typ hlavice je vybaven elektrodami, které stlačují materiál a aplikují vysoký elektrický proud, čímž dojde k jeho ohřevu, tavení a následnému spojení. [3]



Obrázek 12: Svařovací kleště pro bodové svařování [vlastní zdroj]

Lemovací hlavice

Během lemovacího procesu (obr. 13) jsou používány hlavice vybavené různými typy lemovacích válečků, kterými jsou jednotlivé díly ohýbány pod různými úhly. Jedná se tedy o přesnou technologii mechanického spojování různorodých materiálů. [19]



Obrázek 13: Lemovací hlavice [vlastní zdroj]

Lepící hlavice

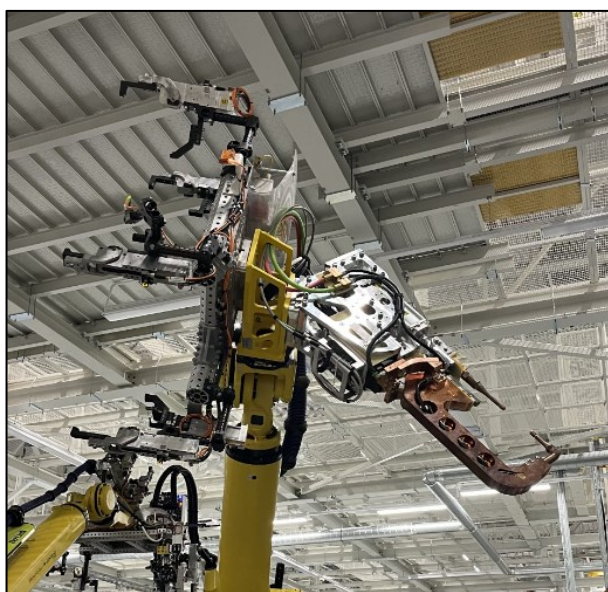
Lepení je efektivní a časově úsporný způsob spojování dílů nebo materiálů. Použití robotů pro nanášení lepidla (obr. 14) zajišťuje nejen vysokou přesnost a opakovatelnost, ale také dávkování optimálního množství lepidla, které je počítáno na základě rychlosti a trajektorii robotu. [20]



Obrázek 14: Robot s lepící hlavicí [21]

1.3.3 Kombinované

Kombinované efektorů jsou zařízení, ve kterých je spojeno více druhů efektorů do jednoho (obr. 15), čímž je umožněna kombinace upínacích operací s technologickými úkony. V tomto případě může být technologie robotu buď přímo integrována na samotném efektoru nebo mohou být na robotu integrovány kombinace různých nástrojů. Například mohou být na jednom rameni robotu umístěny jak svařovací kleště, tak úchopné hlavice. [8]



Obrázek 15: Robot se svařovacími kleštěmi a úchopnou hlavicí [vlastní zdroj]

1.4 Programování průmyslových robotů

V současnosti jsou rozlišovány dva přístupy k programování průmyslových robotů, a to offline a online. Každá metoda má své výhody, které se navzájem doplňují a díky kterým je možné daný problém řešit s větší komplexností. Ačkoliv každý výrobce průmyslových robotů používá svůj vlastní programovací jazyk, jejich struktura a logika je velmi podobná. [3][15]

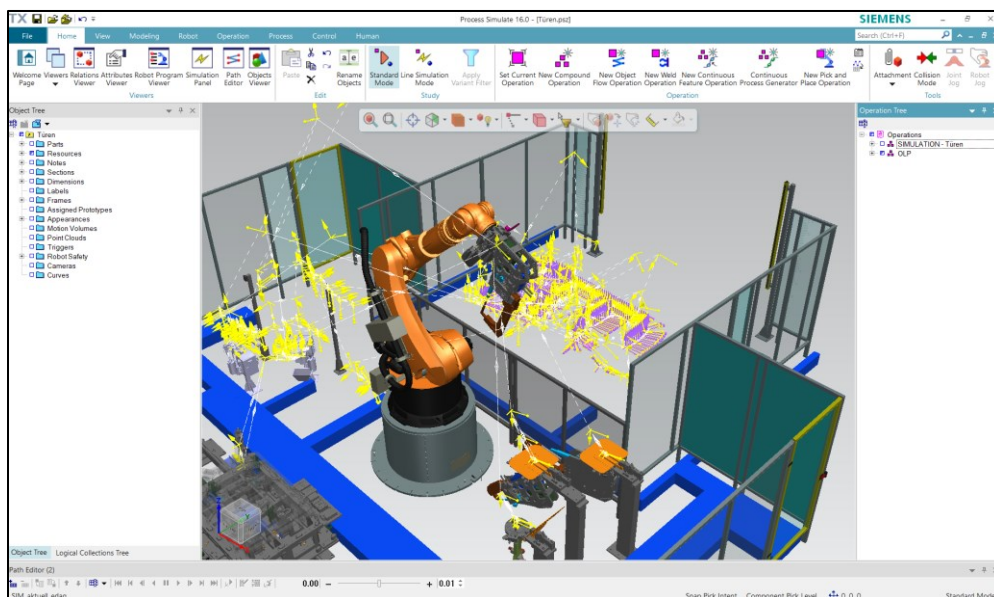
Tento přehled obsahuje nepoužívanější průmyslové roboty a jejich programovací jazyky:

- Kuka – KRL
- Fanuc – KAREL
- ABB – RAPID

1.4.1 Programování Offline

Tato metoda využívá software od výrobce daného robotu, do kterého je možné importovat virtuální model linky. Za pomoci simulace je možné předem připravit dráhy robotu nebo jiné technologické operace s tím spojené, bez nutnosti fyzického přístupu k robotu (obr. 16).

Díky offline programování je také možné kontrolovat kolize s částmi linky, dosah robotů nebo simulačně prověřit budoucí změny. Hotový program je následně exportován do příslušného programovacího jazyka a je možné jej nahrát do robotu. Ve většině případů se následně musí přistoupit k online programování, kde se provádí nepatrné úpravy pro přizpůsobení programu skutečným podmínkám. [3][22]



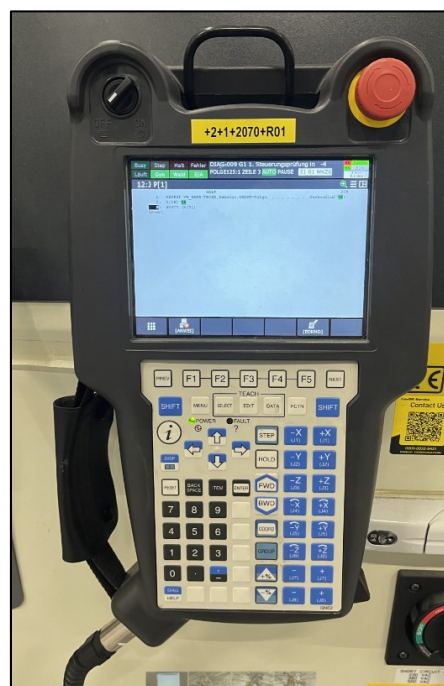
Obrázek 16: Simulační prostředí Process Simulate [vlastní zdroj]

1.4.2 Programování Online

Programování probíhá přímo na pracovišti během reálného provozu, za použití ovládacího panelu, který je připojen k řídicímu systému robotu. Ačkoliv je online programování časově náročnější, nabízí významnou výhodu v podobě vizuální kontroly vykonávaných drah robotu, jejich aproximace a ověření případných blokáci přímo na pracovišti. Ovládací panely mohou být navrženy „na šířku“ nebo „na výšku“ (obr. 17 a 18). [3]



Obrázek 17: Ovládací panel robotu Kuka uspořádaný „na výšku“ [vlastní zdroj]



Obrázek 18: Ovládací panel robotu FANUC uspořádaný „na výšku“ [vlastní zdroj]

Každý ovládací panel disponuje několika pohybovými tlačítky typu „dead man's switch“ pro různé úchopy panelu. Pro zapnutí pohonů robotu musí být jedno z tlačítek uvedeno do mezipolohy, přičemž jeho stisknutí nebo úplné uvolnění vede k výpadku pohonů, čímž je robot zastaven.

2 ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ

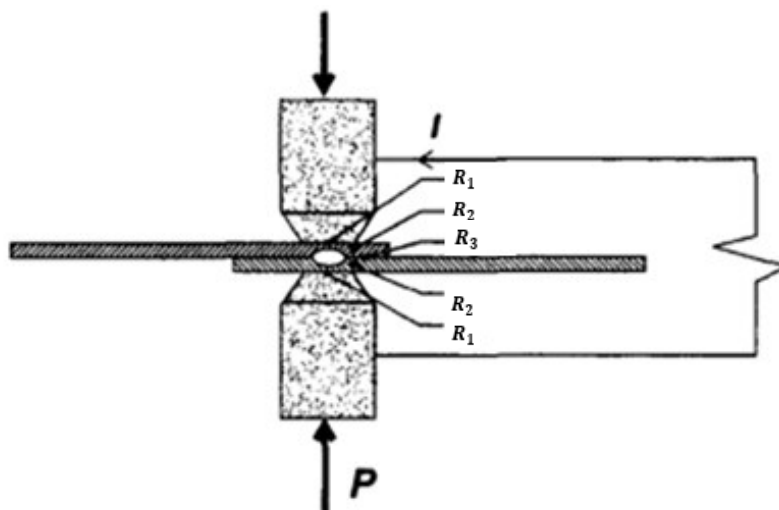
Průmyslové roboty jsou uplatňovány v mnoha odvětvích, přičemž jednou z jejich nejvýznamnějších aplikací je svařování. Díky univerzálnosti průmyslových robotů je možné efektivně zvládat různé svařovací technologie, jako je odporové, obloukové nebo laserové svařování. Roboty jsou velmi často využívány v automobilovém průmyslu, kde se robotické svařování stalo nezbytnou součástí výroby. V posledních letech je zaznamenán nárůst menších firem, které využívají roboty pro svařování menších sérií nebo specializovaných produktů. [3]

2.1 Typy svařovacích procesů v robotice

Robotické svařování zahrnuje různé technologie, které se liší principem, použitím a vhodností pro konkrétní aplikace. Tato kapitola se věnuje jednotlivým svařovacím procesům a jejich charakteristikám.

2.1.1 Odporové bodové svařování

Odporové bodové svařování patří mezi klíčové techniky svařování, které se široce využívá v automobilovém a leteckém průmyslu. Tato metoda je považována za jednu z nejstarších forem svařování, přičemž teplo je tvořeno průchodem elektrického proudu skrze odpor, vznikající kontaktem mezi dvěma kovovými povrchy. Elektrický proud generuje teplo procházející měděnými elektrodami, které stlačují svařované plechy. To následně způsobí roztavení materiálu v místě kontaktu, čímž vznikne pevný spoj. Celkový odpor svařence je dán přechodovým odporem kontaktu elektrody a materiálu (R_1), odporem materiálu (R_2) a přechodovým odporem kontaktu svařovaných materiálů (R_3). [22][24]



Obrázek 19: Schéma odporového svařování [22]

Vzniklá tepelná energie je dána $Q = I^2 * R * t$

Kde:

Q = množství tepla [J]

I = elektrický proud [A]

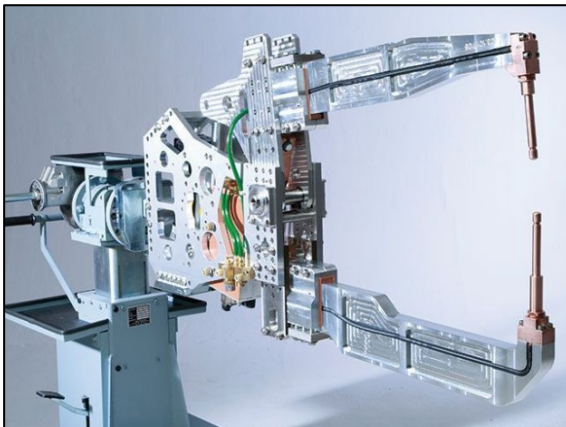
R = celkový odpor svaru [Ω]

t = doba svařování [s]

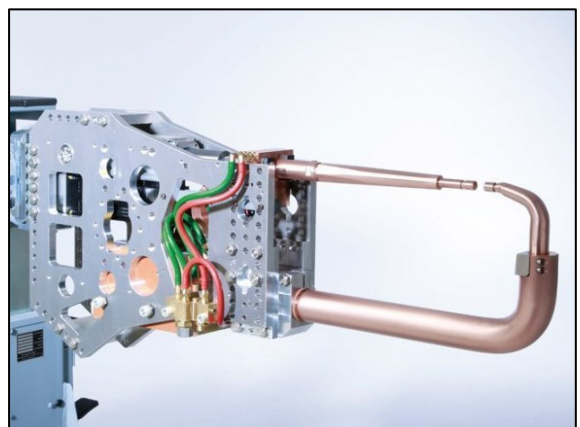
Rozdělení svařovacích kleští dle konstrukce

- Kleště typu C
- Kleště typu X

Odporové bodové svařovací kleště lze rozdělit na typ C, kde je pracovní válec přímo spojen s pohyblivou elektrodou, což zaručuje jednodušší a cenově výhodnější konstrukci. Pracovní válec u typu X je oddělen od elektrody a síla je přenášena prostřednictvím páky, což poskytuje větší flexibilitu a lepší kontrolu při vyšších nárocích na tlak. [25][26]



Obrázek 21: Svařovací kleště typu X [25]



Obrázek 20: Svařovací kleště typu C [25]

Rozdělení svařovacích kleští dle pohonu

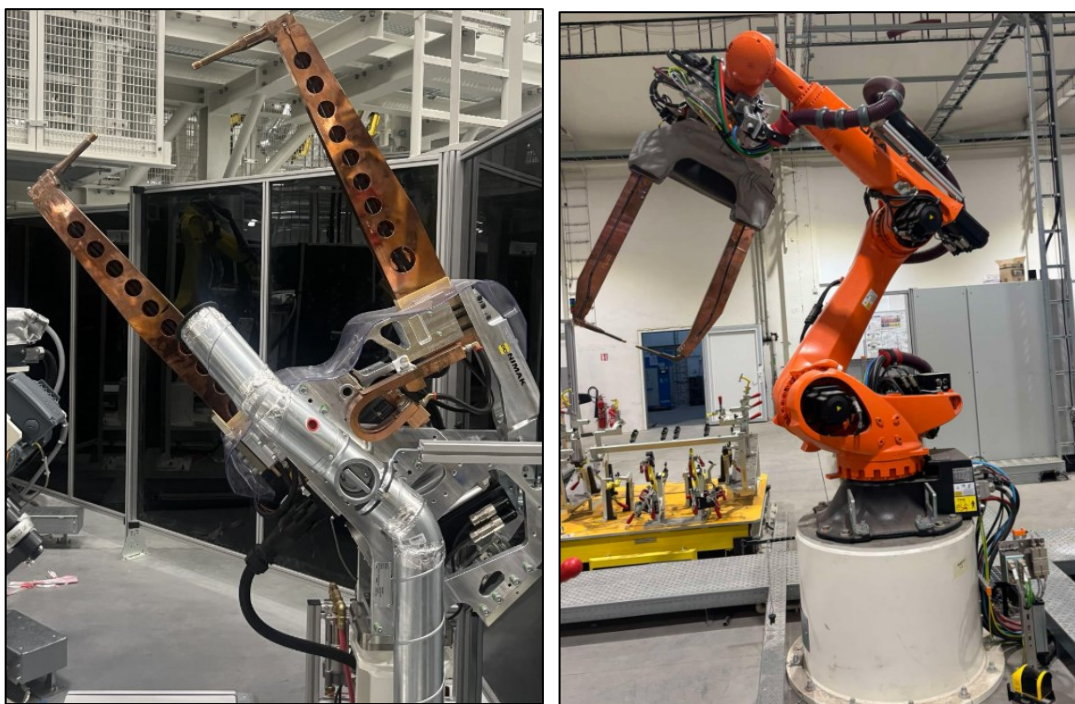
- Servopneumatické
- Servoelektrické

Svařovací kleště mohou být poháněny buď servoelektrickým nebo servopneumatickým systémem, přičemž každý přístup nabízí své specifické výhody a omezení.

Servopneumatické kleště jsou charakterizovány robustní technologií, nízkou hmotností a vysokou rychlostí s dynamickou odezvou. Navíc představují nákladově efektivní řešení, které je ideální pro použití v nízkotlakých sítích. Servoelektrické kleště se naopak vyznačují kompaktní konstrukcí, jež je v nízkotlakých sítích ještě efektivnější než servopneumatické varianty. K jejich dalším výhodám patří energeticky úsporný provoz, zejména při aplikacích vyžadujících vysoké síly. [25][27]

Odporové bodové svařování lze dále rozdělit podle umístění svařovacích kleští do dvou kategorií (obr. 22):

- **Kleště umístěné na robotu:** robot provádí svařování
- **Kleště stacionární:** robot provádí manipulaci se svařovaným materiálem

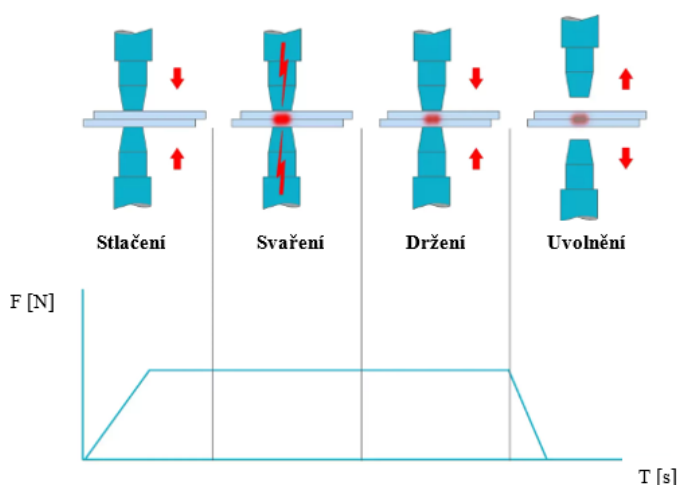


Obrázek 22: Vlevo stacionární kleště, vpravo kleště umístěné na robotu [vlastní zdroj]

Svařovací parametry

Bodové odporové svařování závisí na několika nastavitelných parametrech, které zásadně ovlivňují výsledný svařovací výkon. Pro jejich nastavení existují tabulky doporučených hodnot, ale správná optimalizace procesu často závisí na zkušenostech svařovacího technika, postupném testování či praktickém ladění. [22]

- **Svařovací proud:** Jedná se o nejdůležitější parametr svařování, ovlivňující pevnost a kvalitu svaru. Příliš vysoký proud způsobuje oslabení svaru, rozstřík, deformaci a rychlé opotřebení elektrod. Naopak nízký proud vede k slabým svarům s nedostatečnou plochou. [22]
- **Doba stlačení:** Doba stlačení je čas potřebný k dosažení požadovaného stlačení materiálu, který závisí na jeho tloušťce a konstrukci elektrod. [22]
- **Upínací síla:** Upínací síla je síla, kterou elektrody přitlačují materiál k sobě. Pokud je tato síla příliš nízká, dochází k vysokému kontaktnímu odporu a rozstříku. Naopak příliš vysoká síla může způsobit nízkou pevnost svaru a hlubší krátery. [22]
- **Doba svařování:** Doba svařování je čas, během kterého materiálem prochází elektrický proud. [22]
- **Doba držení:** Je doba, která začíná po přerušení proudu, během které svarová lázeň tuhne, a končí uvolněním upínací síly. [22]

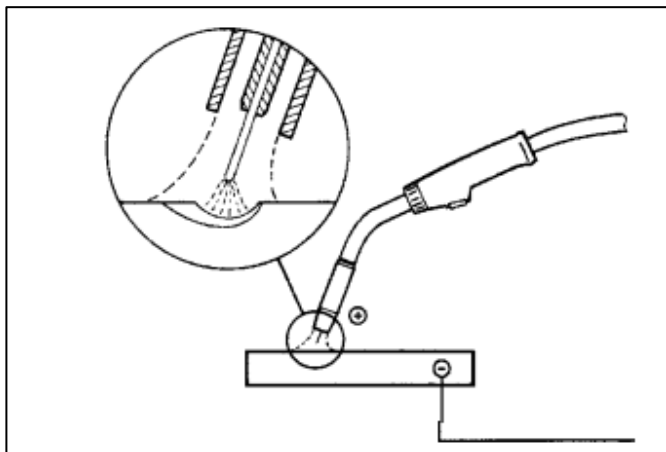


Obrázek 23: Svařovací cyklus bodového svařování [28]

2.1.2 MIG/MAG svařování

Při MIG (Metal Inert Gas) / MAG (Metal Active Gas) svařování, které je také známé jako svařování elektrickým obloukem s ochranným plynem, zde se využívá elektrický oblouk jenž generuje teplo, které je použito k roztavení jak elektrody, tak svařovaných částí. Aby se zabránilo oxidaci, jsou zde používány ochranné plyny, jejichž složení zároveň určuje, zda

se jedná o MIG nebo MAG svařování. U MIG svařování je využito inertních plynů jako je argon nebo helium, které nereagují s okolním prostředím. Oproti tomu je při MAG svařování využívána aktivní směs plynů, například oxid uhličitý nebo směsi CO_2 s argonem, které mohou ovlivnit vlastnosti svaru. [22][28]



Obrázek 24: Princip MIG/MAG svařování [22]

Při robotickém MIG/MAG svařování (obr. 25) je svařovací hlava upevněna na koncovém efektoru robotu a je propojena se svařovacím zdrojem, který zajišťuje dodávku elektrické energie a ochranného plynu. Svařovací jednotka může být k robotu zakoupena samostatně, avšak někteří dodavatelé často spolupracují s konkrétními výrobci svařovací techniky a nabízejí integrovaná řešení založená na této spolupráci. [29][30]

K integraci robotických MIG/MAG svařovacích systémů existují dva přístupy, které odrážejí rozdílné strategie výrobců a dodavatelů v závislosti na jejich zaměření a nabídce. První přístup spočívá v dodávce základního robotického systému, kterého je součástí robot a svařovací jednotka, přičemž za návrh a výrobu doplňkových prvků jako jsou otočné stoly, svařovací přípravky nebo jiná specializovaná zařízení nese odpovědnost zákazník. Druhý přístup je komplexnější a nabízí jej například firma IGM, která navrhuje a dodává kompletní svařovací buňky přizpůsobené specifickým potřebám zákazníka. Tyto buňky zahrnují nejen specificky navržený robot, ale také přípravky, otočné stoly a další potřebná zařízení, čímž zákazníka zbavují nutnosti řešit jednotlivé komponenty samostatně. [30][31][32]



Obrázek 25: Robotická svařovací buňka od společnosti IGM. [vlastní zdroj]

Svařovací parametry

Mezi nejdůležitější svařovací parametry u MIG/MAG svařování patří:

- Rychlost svařování
- Rychlost podavače elektrody
- Proud
- Napětí
- Délka oblouku

Svařovací parametry se nastavují s ohledem na tloušťku materiálu a polohu svařovací hlavy. Moderní svařovací technika často využívá takzvané synergické programy, které automaticky přizpůsobují ostatní parametry při změně jednoho z parametrů. [22][33]

Standardně se používá režim „Job Mode“, kdy je aktivován konkrétní „job“ s přednastavenými svařovacími parametry, které jsou uloženy přímo ve svářečce. V tomto režimu jsou potřebné svařovací parametry (joby) přijímány robotem přímo z řídicího systému svářečky. [34]

Alternativně lze parametry svařování nastavovat přímo prostřednictvím ovládacího panelu robotu, což umožňuje přímou editaci svařovacích charakteristik na úrovni robotického systému. Tento přístup je typický například u systémů IGM, kde robotický řídicí systém komunikuje přímo se svářečkou a umožňuje dynamické nastavení parametrů svařovacího procesu. [34]

2.1.3 Laserové svařování

Laserové svařování je vysoce efektivní metoda, která umožňuje přesné a kvalitní spojování složitých nebo obtížně svařitelných materiálů, jako jsou například měď nebo hliník. Díky absenci pórů, vynikajícím rozměrovým tolerancím a vysoké produktivitě je laserové svařování často považováno za lepší než jiné svařovací technologie v mnoha aplikacích. [35][36]

Laser (light amplification by stimulated emission of radiation) znamená zesilování světla stimulovanou emisí a skládá se z několika částí: [35]

1. Aktivní prostředí

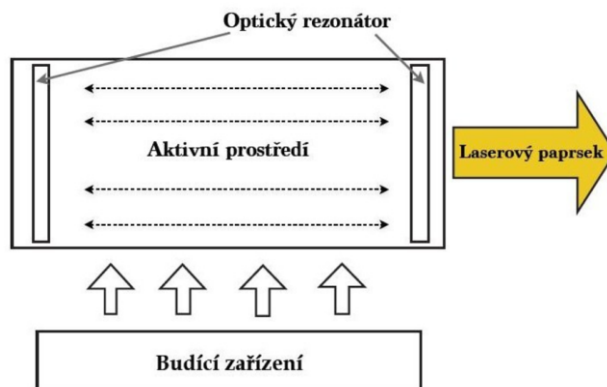
Je tvořeno látkou, obsahující elektrony, jež jsou následně excitovány na vyšší energetické hladiny. Mohou se dělit na pevnolátkové, plynové, nebo polovodičové. V oblasti robotického laserového svařování se nejvíce využívají pevnolátkové a diodové lasery.

2. Rezonátor

Rezonátor je složen z kombinací dvou zrcadel, které jsou umístěna kolmo na osu laserového paprsku, přičemž jedno zrcadlo je polopropustné.

3. Zdroj záření

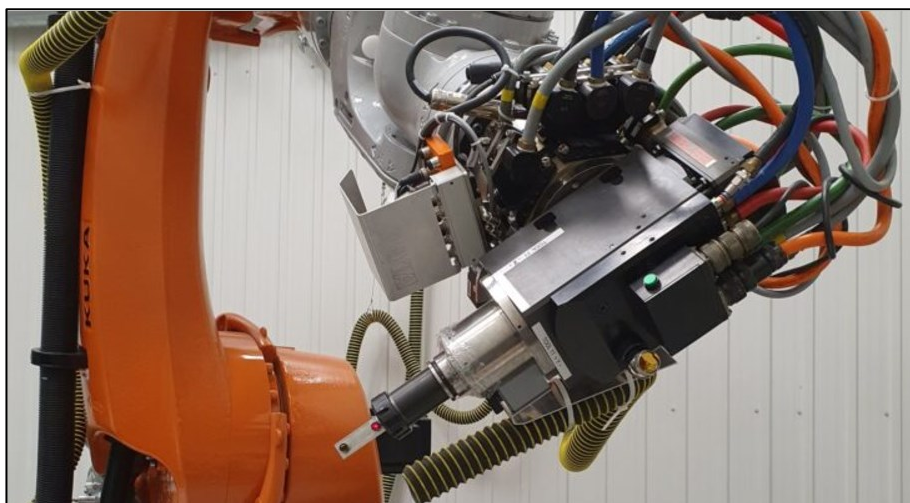
Jedná se o zdroj energie, která je dodávána do aktivního prostředí rezonátoru, díky čemuž jsou elektrony v aktivním prostředí excitovány na vyšší energetickou hladinu.



Obrázek 26: Schéma částí laseru [37]

Budící zařízení dodá energii do aktivního prostředí, kde se excitují elektrony. Při návratu elektronů zpět na nižší energetickou úroveň jsou uvolněny fotony, které jsou následně odraženy v rezonátoru. Mezi zrcadly dochází k jejich opakovanému odrazu, dokud nejsou polopropustným zrcadlem propuštěny ven, čímž je vytvořen laserový paprsek. [35][38]

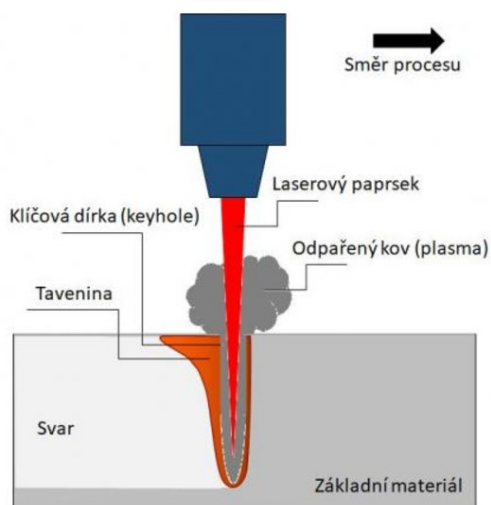
Laserový paprsek je pomocí čočky nebo zrcadel zaostřen do bodu o průměru několika desetin milimetru. Takto zaostřený paprsek je nastavený tak, aby dosáhl povrchu, nebo se nacházel těsně pod ním. Materiál v místě dopadu se okamžitě roztaví, přičemž určitá část se odpaří. Odpařený kov je využit k vytvoření plazmy, což je ionizovaný plyn složený z volných elektronů a iontů. Jakmile je paprsek posunut a přívod tepla se přeruší, kov v místě svaru rychle ztuhne díky malé vyhřívané zóně. Tento proces minimalizuje velikost tepelně ovlivněné oblasti, což výrazně snižuje riziko deformací. Průnik svaru je ovlivněn výkonem laseru, rychlostí posuvu paprsku, typem použitého materiálu a kvalitou zaostření. [22][37]



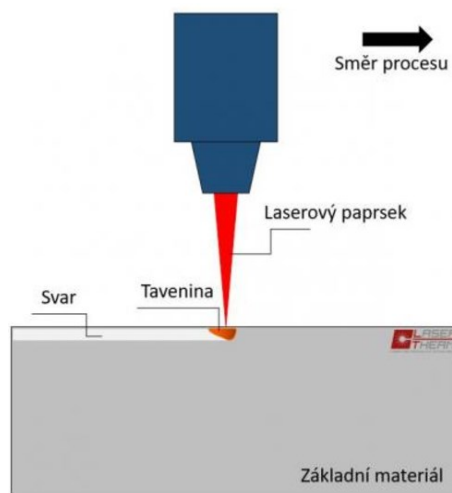
Obrázek 27: Laserová svařovací hlava [36]

Existují dvě metody laserového svařování: [39]

- a) **Hluboké svařování (keyhole):** Využívá se vysoce výkonný laser pro vysokorychlostní svařování. Úzký, hluboký průvar s vysokou penetrací (obr. 29).
- b) **Kondukční svařování:** Jedná se o metodu laserového svařování s nízkým výkonem, což omezuje hloubku průniku maximálně na 1-2 mm (obr. 28).



Obrázek 29: Hluboké svařování[39]



Obrázek 28: Kondukční svařování[39]

3 PROCESS SIMULATE

Process Simulate je součástí produktové sady Tecnomatix od společnosti Siemens, která je zahrnuta do konceptu PLM (Product Lifecycle Management). Programy této sady jsou zaměřeny na nasazení a využití digitální továrny, což zahrnuje virtuální modelování, simulaci a optimalizaci výrobních procesů. Díky integraci s PLM jsou všechny fáze životního cyklu produktu – od návrhu a vývoje přes výrobu až po údržbu – vzájemně propojeny. Tím je umožněno efektivnější plánování, zvyšování kvality a snižování nákladů, přičemž je zajištěna lepší spolupráce mezi jednotlivými týmy napříč celým výrobním procesem (obr. 30). [40]



Obrázek 30: Pokrytí životního cyklu výrobku v rámci PLM platformy [40]

Mezi hlavní oblasti sady Tecnomatix patří: [40]

Plánování procesů

- Process designer
- Teamcenter MPP

Simulace procesů

- Process Simulate
- Plant Simulation
- Line Designer
- NX-CAM

Řízení kvality a výroby

- Teamcenter Quality – Control and Inspection Planning

3.1 Process simulate eMS vs Standalone

Process Simulate existuje ve dvou verzích, které se liší způsobem práce s daty.

3.1.1 Process simulate on eMS

Všechna data jsou ukládána na eMServer – centrální serverová platforma, sloužící pro správu dat mezi různými nástroji a uživatelskými stanicemi v rámci podniku. Jakékoli změny jsou aktualizovány v reálném čase. Při práci na projektech a simulacích jsou data přímo uložena na eMServeru, což umožňuje okamžitou synchronizaci a sdílení mezi uživatelskými stanicemi. Pokud je to potřeba, může být projekt otevřen a informace mezi klientem a serverem jsou aktualizovány, čímž je zajištěna aktuálnost dat v rámci celé organizace. EMServer slouží jako centrální úložiště pro všechny projektové soubory, konfigurace a data související se simulacemi a výrobními procesy.

3.1.2 Process simulate Standalone

Standalone je samostatná aplikace, která umožňuje pracovat s lokální kopií studie (PSZ soubor) bez připojení k serveru. Po dokončení lze změny synchronizovat zpět na eMServer, jakmile je připojení opět k dispozici.

Pokud je studie stažena z eMServeru, skládá se ze dvou částí:

- a) SystemRoot – obsahuje veškeré externí prvky a soubory propojené s objekty v projektu např. 3D modely, výkresy a obrázky.
- b) PSZ soubor – obsahuje samotné trajektorie robotů, svařovací operace a další data související se simulací.

Pro uložení kompletní studie se používá PSZX soubor, který obsahuje jak PSZ soubor, tak SystemRoot. PSZX je tedy komprimovaná verze celé studie, která zahrnuje všechna potřebná data v jednom souboru.

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

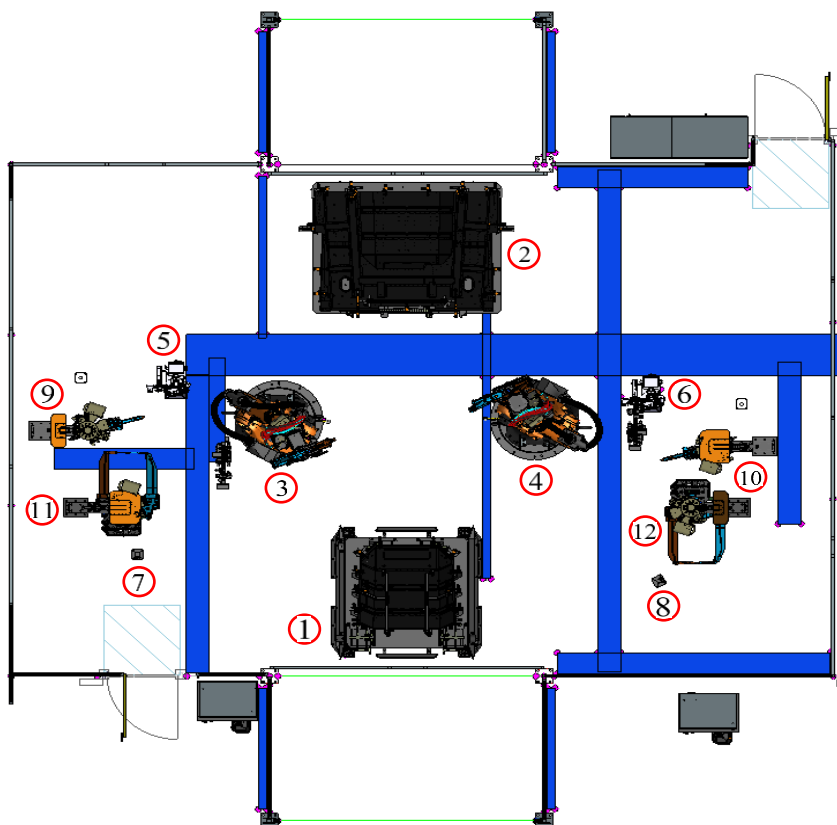
Cílem této práce je vytvořit offline programy v prostředí Process Simulate a následně je implementovat do reálného prostředí výrobní linky.

Dílčí cíle práce:

- Navrhnout offline programy v prostředí Process Simulate s ohledem na specifiky svařovací linky.
- Provést kalibraci a přípravu robotu na provoz.
- Implementovat offline programy na reálnou výrobní linku a provést optimalizaci robotických drah.
- Ověřit funkčnost implementovaných programů na reálné robotické lince.

5 POPIS ROBOTICKÉ LINKY

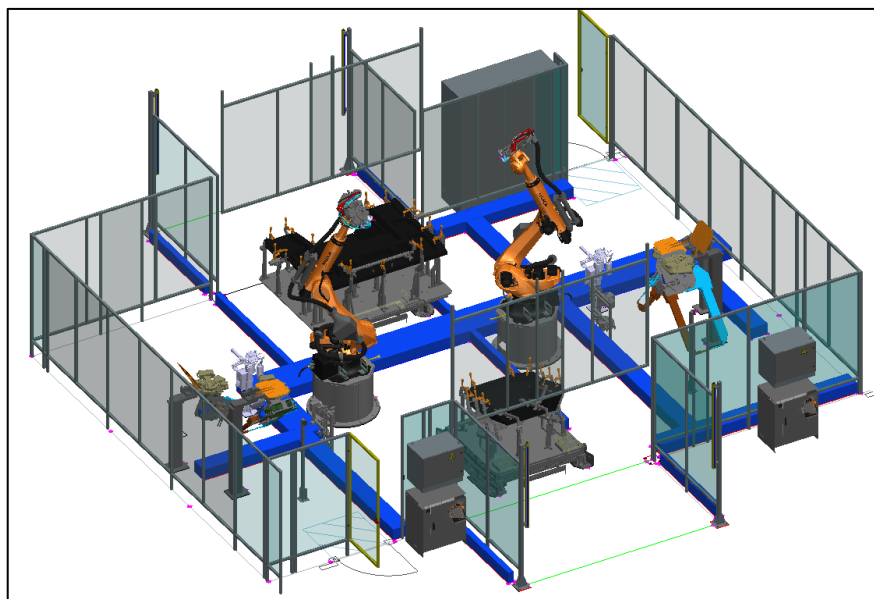
Robotická linka (obr. 31 a 32) je určena pro výrobu podlahové části kabiny určené pro vojenský průmysl. Podlahová konstrukce se skládá z několika podskupin, které jsou postupně svařovány na speciálních přípravcích. Některé díly vkládané do přípravku jsou již předem ručně svařené podskupiny, které nelze svařit roboticky kvůli jejich tvarové složitosti nebo umístění svarů. Tyto podskupiny jsou následně spojeny do finální struktury podlahy.



Obrázek 31: Layout svařovací linky

Číslo zařízení	Název zařízení
1	Dokovací stanice DC1
2	Dokovací stanice DC2
3	Průmyslový robot 1
4	Průmyslový robot 2
5	Fréza na frézování a výměnu čepiček 1
6	Fréza na frézování a výměnu čepiček 2
7	Senzor pro určení referenční polohy 1
8	Senzor pro určení referenční polohy 2
9	Svařovací kleště typu C1
10	Svařovací kleště typu C2
11	Svařovací kleště typu X1
12	Svařovací kleště typu X2

Tabulka 1: Zařízení pracoviště



Obrázek 32: Svařovací stanice

5.1 Komponenty robotického pracoviště

Tato kapitola je zaměřena na detailní rozbor součástí tvořících danou robotickou linku a na přehled klíčových komponentů zahrnutých v jejím celkovém uspořádání.

5.1.1 Průmyslové roboty

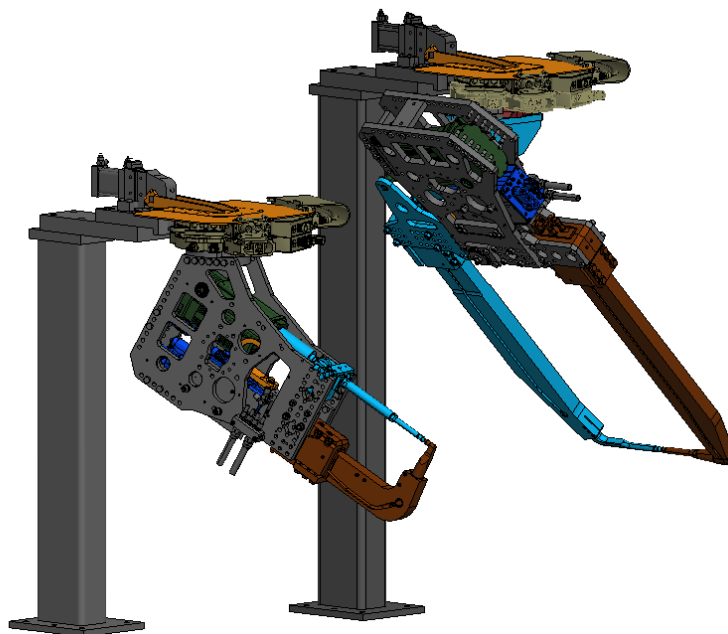
Stanice je vybavena dvěma průmyslovými roboty KUKA KR 300 R2700-2 (obr. 33). Jedná se o roboty s nosností 300 kg, pracovní vzdáleností 2701 mm a vysokou opakovatelností polohy s přesností $\pm 0,05$ mm. Oba roboty jsou osazeny rychlospojkami Stäubli MPS631, pro rychlou výměnu nástrojů. [41]



Obrázek 33: Průmyslový robot KUKA KR 300 R2700-2

5.1.2 Svařovací kleště

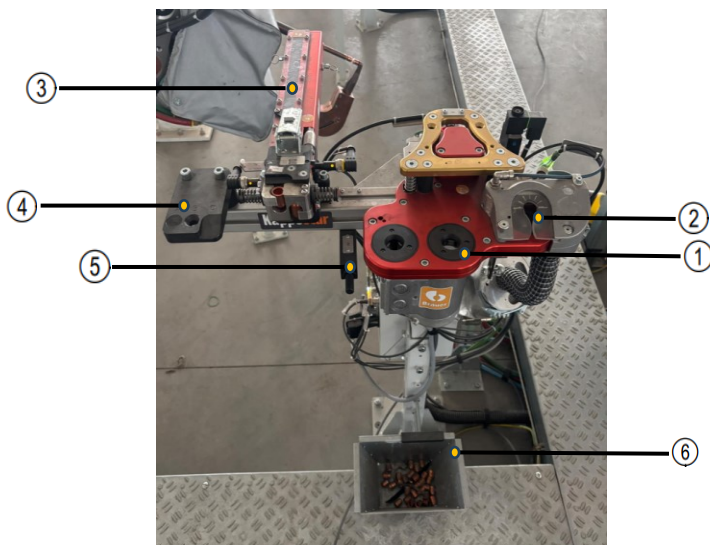
Oba průmyslové roboty jsou vybaveny dvěma typy servoelektrických svařovacích kleští typu X a typu C (obr. 34). V jednom okamžiku může mít robot připojeny pouze jedny kleště, zatímco druhé jsou uloženy v dokovací stanici od společnosti Stäubli. Svařovací procesy obou kleští jsou řízeny svařovací technologií Harms+Wende Genius MFI.



Obrázek 34: Odložené svařovací kleště v dokovací stanici

5.1.3 Fréza na frézování a výměnu čepiček

Elektrodové čepičky na svařovacích kleštích se postupně opotřebovávají v důsledku svařovacího procesu. Tento jev je způsoben vysokými teplotami a mechanickým tlakem, které působí na elektrody během každého svařovacího cyklu. Z tohoto důvodu je nutné po určitém počtu svařených bodů čepičky ofrézovat. Jakmile je čepička frézovaná vícekrát a její životnost se blíží ke konci, robot automaticky vymění čepičku za novou. Tento proces probíhá za použití jednotky pro uvolnění čepiček, senzoru a desky pro jejich fixaci. Fréza může být stacionární nebo mobilní. V konkrétní stanici je použita stacionární fréza BKS-5820.437.01x od firmy Bräuer (obr. 35).

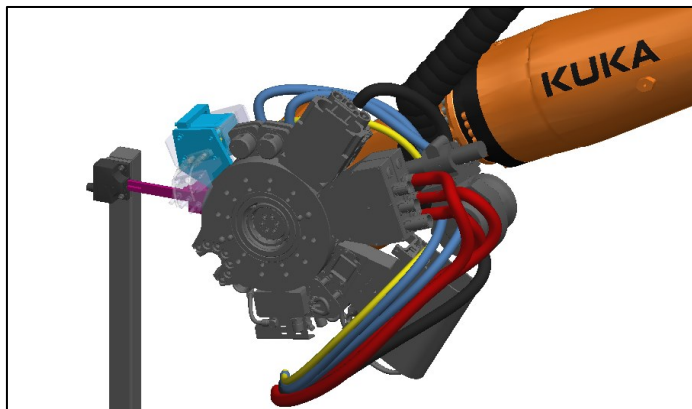


Obrázek 35: Fréza na úpravu a výměnu čepiček

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1. Jednotka pro uvolnění čepiček | 4. Deska pro fixaci čepiček |
| 2. Jednotka pro frézování čepiček | 5. Senzor |
| 3. Zásobník čepiček | 6. Koš pro sundané čepičky |

5.1.4 Senzor pro určení referenční polohy

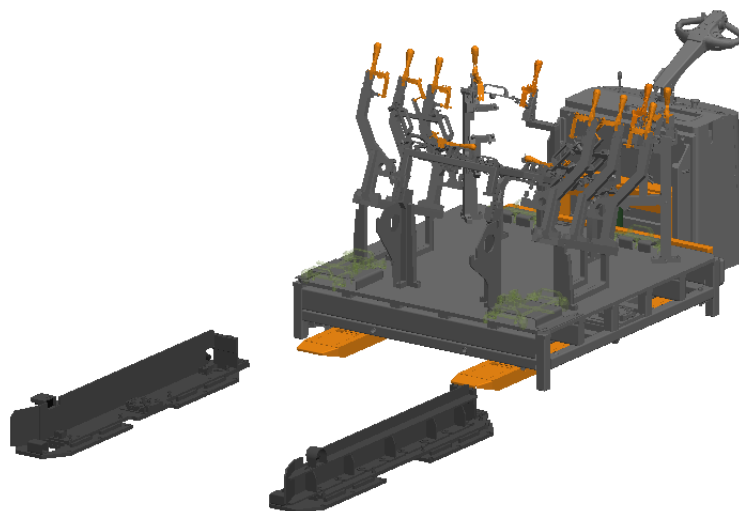
Senzor slouží k ověření, zda aktuální poloha robotu a jeho externích os odpovídá nastavené referenční poloze. Pokud je zjištěna odchylka mezi referenční a aktuální polohou, která přesahuje povolený limit, test selže. V takovém případě dojde k automatickému zastavení robotu, aby se předešlo jeho možnému poškození nebo vzniku jiných nežádoucích jevů. Robot je poté možné ovládat pouze v manuálním režimu s omezenou rychlostí. Test se provádí najetím robotu do referenční polohy, kde je referenční vidlička upevněná na spojce, detekována indukčním snímačem (obr. 36). Po úspěšném zaznamenání této polohy robot automaticky odjede do své „home“ pozice.



Obrázek 36: Robot v referenční pozici

5.1.5 Dokovací stanice

Dokovací stanice jsou mobilní přípravky, které lze pomocí paletového vozíku vyjmout a následně opět vložit do fixační základny (obr. 37). Každá stanice má dvě strany, stranu A a po otočení stanice o 180 stupňů je k dispozici druhá strana B. Tento design umožňuje zakládání stanic z obou stran, což zajišťuje dosah robotů po celém přípravku. Koncept spočívá v tom, že operátor umístí jednotlivé díly do přípravku, který následně pomocí paletového vozíku přepraví do fixační základny, kde dojde k jejich svaření.



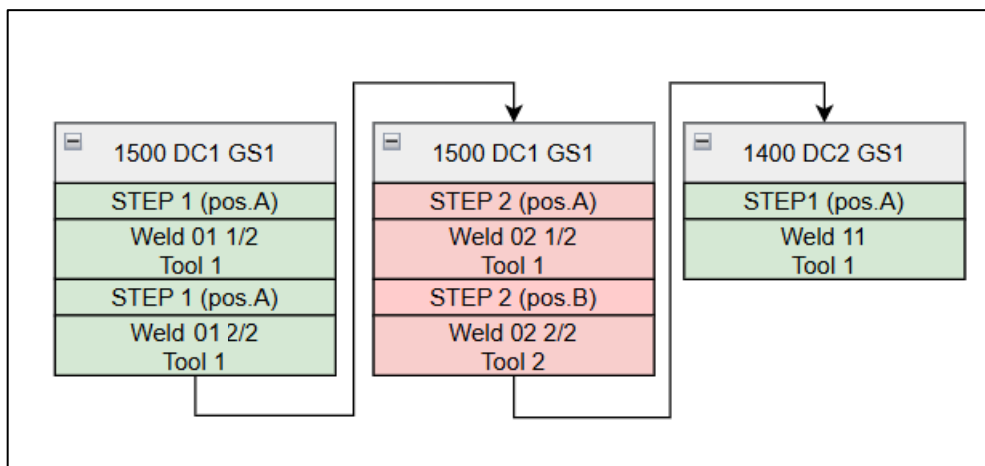
Obrázek 37: Fixační základna s přípravkem na paletovém vozíku

5.2 Diagram posloupnosti svařování

V robotické svařovací lince jsou využívány dvě stanice, přičemž každá stanice je označena názvem, který obsahuje dva klíčové údaje o jejím umístění a funkci.

První označení DC (Docking) určuje, do které fixační základny se daná svařovací stanice zakládá. V této lince se používají dvě dokovací stanice, DC1 a DC2. Druhé označení GS (Geostation) znamená, že se jedná o první body na dané stanici, jenž drží základní geometrii svařované podskupiny. Alternativně by se mohla vyskytovat i stanice RS (Respot), která slouží jako dovářková stanice pro doplnění svarů, které nebylo možné provést v geostanici. V této lince se však respot stanice nevyskytují a všechny jsou pouze geostanice. Dalším důležitým označením je STEP, které značí postupné zakládání dalších dílů do stanice. Každý STEP představuje jednu sekvenci procesu, kdy se přidává nový díl, k již existující sestavě a následně probíhá svařování.

V každé stanici je také uvedeno označení „Weld“, které určuje svařovací program v robotu, který danou stanici svařuje. Kromě toho je uvedeno i označení „Tool“, které specifikuje, jakými robotickými kleštěmi se svařování provádí.



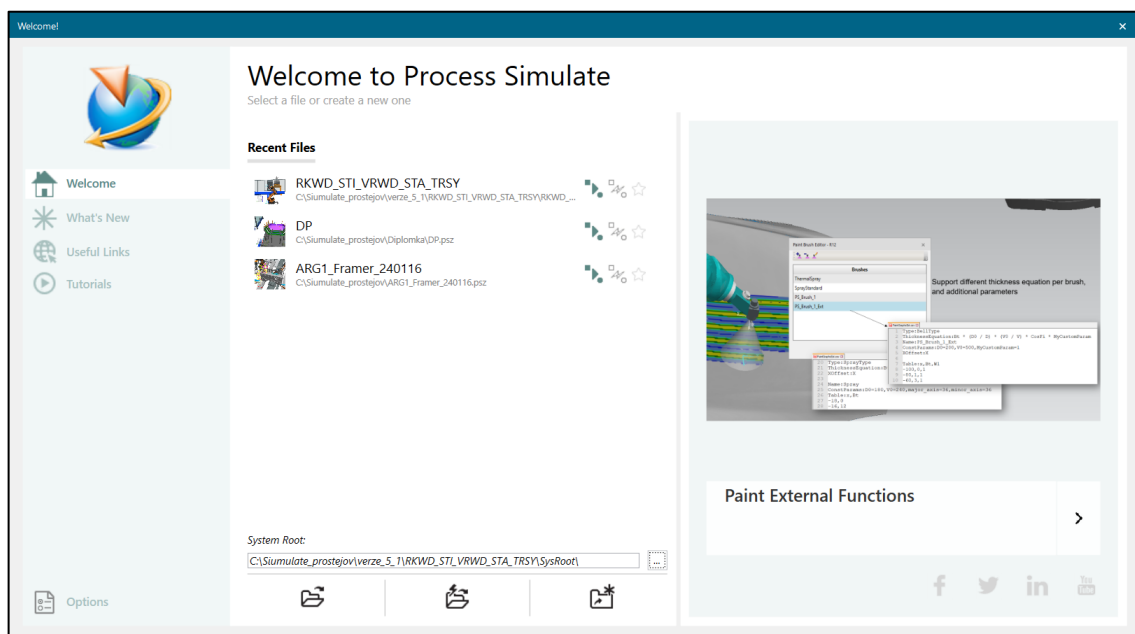
Obrázek 38: Diagram posloupnosti svařování

6 PRÁCE V PROCESS SIMULATE

Tato kapitola se zaměřuje na prvotní nastavení studie v prostředí Process Simulate, zahrnující konfiguraci jednotlivých robotů, tvorbu offline programů a následný export těchto programů pro jejich implementaci do výrobního procesu.

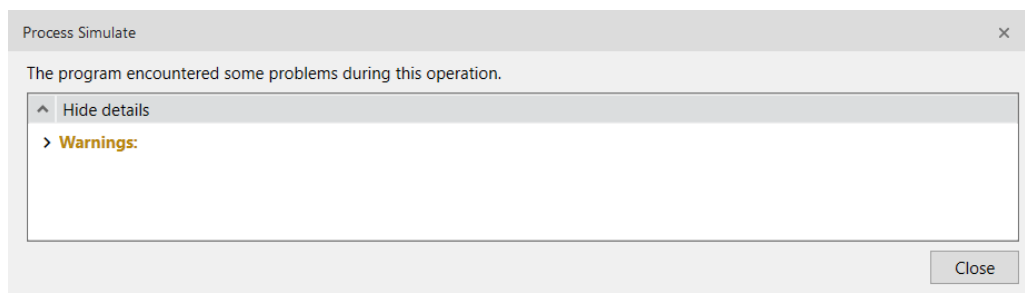
6.1 Nastavení a otevření studie

Při spuštění Process Simulate se zobrazí úvodní okno (obr. 39), ve kterém je nutné vybrat knihovnu System Root, která obsahuje data související s danou studií. Následně je možné otevřít soubor PSZ v režimu Standard Mode, který je určen pro návrh, úpravy a analýzu simulace. K dispozici je také Simulation Mode, který slouží k provádění simulací výrobních procesů.



Obrázek 39: Úvodní okno Process Simulate

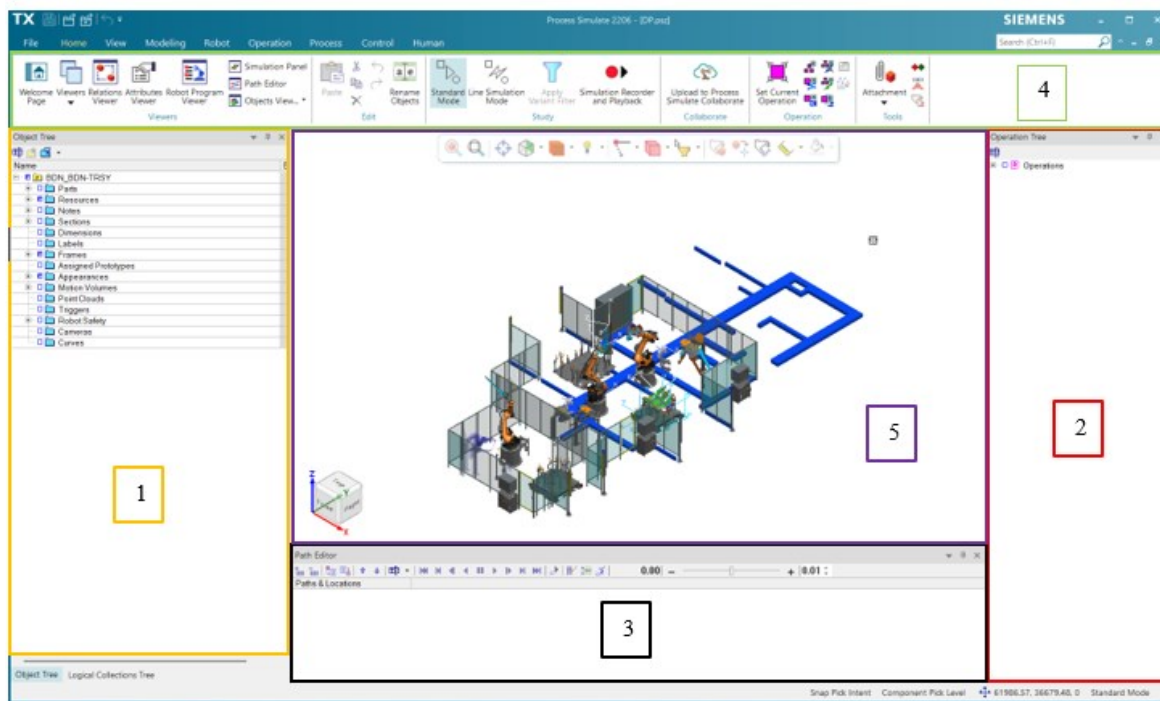
Po otevření studie se automaticky zobrazí informační okno, které ověřuje úspěšnost načtení studie (obr. 40). Toto okno poskytuje diagnostické údaje o správnosti načtení modelů a všech souvisejících souborech, případně upozorní na detekované chyby.



Obrázek 40: Informační okno o správnosti načtení dílčích částí studie

6.2 Uživatelské rozhraní

Prostředí lze upravit dle potřeby, zejména nastavením jednotlivých oken, která umožňují pracovat s různými aspekty simulace. V tomto případě jsou okna uspořádána následovně.



Obrázek 41: Rozhraní prostředí Process Simulate s označením oken: Okno 1 – Object Tree, Okno 2 – Operation Tree, Okno 3 – Path Editor, Okno 4 – Quick Access Toolbar.

6.2.1 Object Tree

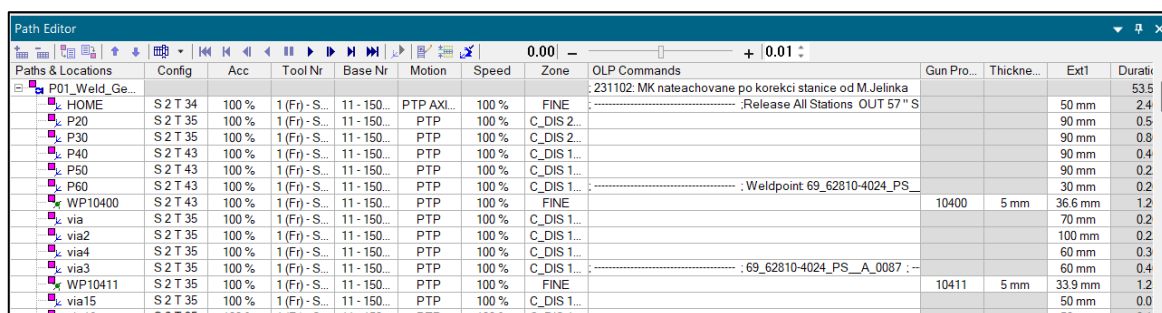
Okno Object Tree zobrazuje hierarchii objektů obsažených ve studii. Například Parts představuje jednotlivé díly, Resources zahrnuje výrobní prostředky a Motion Volumes obsahuje pracovní obálky jednotlivých robotů. Pomocí zaškrťovacích políček lze objekty v hierarchii flexibilně zobrazit nebo skrýt podle aktuálních potřeb uživatele.

6.2.2 Operation Tree

Operation Tree je hierarchická struktura operací, která je zpravidla rozdělena podle jednotlivých oblastí výroby, jako jsou výrobní linky a pracovní stanice. Každá stanice obsahuje sekvenci operací, jež se na ní vykonávají. Tento strom může zahrnovat různé typy operací, včetně Device Operations, které simulují činnost mechanických zařízení, jako jsou upínky nebo otočné stoly, Flow Operations, které definují pohyb objektů v procesu, a především Robotic Operations, jež představují klíčové operace prováděné roboty.

6.2.3 Path Editor

Path Editor umožňuje simulovat a upravovat jednotlivé operace z Operation Tree (obr. 42). Typická svařovací operace obsahuje via lokace, které definují pohybové dráhy robotu a MFG body, jež představují procesní body, v tomto případě svařovací. Každý MFG bod je promítnut jako normála na daný díl a je s ním pevně spjat.



Paths & Locations	Config	Acc	Tool Nr	Base Nr	Motion	Speed	Zone	OLP Commands	Gun Pro...	Thickne...	Ext1	Durati
P01_Weld_Ge...								231102: MK nateachovane po korekci stanice od M.Jelinka				53.5
HOME	S 2 T 34	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP AXI...	100 %	FINE	Release All Stations OUT 57" S			50 mm	2.4
P20	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 2...				90 mm	0.5
P30	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 2...				90 mm	0.8
P40	S 2 T 43	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				90 mm	0.4
P50	S 2 T 43	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				90 mm	0.2
P60	S 2 T 43	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...	 Weldpoint: 69_62810-4024_PS...			30 mm	0.2
WP10400	S 2 T 43	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	FINE		10400	5 mm	36.6 mm	1.2
via	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				70 mm	0.2
via2	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				100 mm	0.2
via4	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				60 mm	0.3
via3	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...	 69_62810-4024_PS_A_0087 :-			60 mm	0.4
WP10411	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	FINE		10411	5 mm	33.9 mm	1.2
via15	S 2 T 35	100 %	1 (Fr) - S...	11 - 150...	PTP	100 %	C_DIS 1...				50 mm	0.0

Obrázek 42: Path Editor

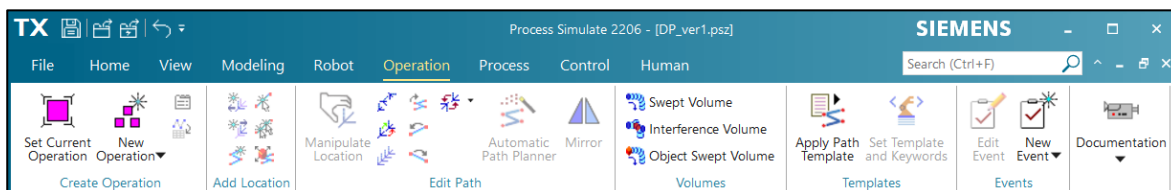
Každá robotická, procesní operace je ovlivněna atributy, které určují její průběh a výslednou kvalitu. Mezi atributy patří:

- **Config** – konfigurace os v daném bodě
- **Acc** – zrychlení
- **Tool Nr** – používaný nástroj
- **Base Nr** – používaná báze
- **Motion** – typ pohybu robotu
- **Speed** – rychlost pohybu robotu
- **Zone** – vyhlazení trajektorie

Path Editor také nabízí různé ovládací možnosti pro přizpůsobení simulace podle potřeb. Patří sem zobrazení simulačního času a nastavení rychlosti, kterou lze měnit i během simulace. Funkce "Simulation Time Interval" umožňuje nastavit vzorkovací interval pro ovlivnění plynulosti simulace – kratší intervaly zajišťují kontinuální průběh, delší šetří výpočetní výkon, ale mohou způsobit skoky v simulaci. Funkce "Auto Teach" automaticky nastaví optimální konfiguraci robotu pro danou lokaci.

6.2.4 Quick Access Toolbar

Quick Access Toolbar (obr. 43) umožňuje rychlý přístup k často používaným příkazům v Process Simulate.



Obrázek 43: Defaultní rozložení Qick Access Toolbar

V horní části okna se nachází Quick Access Toolbar, který obsahuje základní funkce, jako je uložení nebo otevření studie. Pod tímto panelem se nachází pás karet s různými záložkami, přičemž každá záložka obsahuje specifické nástroje pro práci v Process Simulate:

- File – správa souborů, otevření, export nebo nastavení studie
- Home – správa rozložení oken, základní nástroje pro navigaci, různé druhy operací a výběr objektů
- View – nastavení zobrazení pracovního prostoru, pohledů a jednotlivých vrstev
- Modeling – definice nových komponent, návrh a úprava objektů, nastavení fyzikálních vlastností
- Robot – nastavení robotu, tvorba trajektorií, definice nástrojů, import a export programů
- Operation – správa robotických operací, plánování drah.
- Process – konfigurace a správa technologických procesů
- Control – tvorba logiky řízení, práce se senzory a správa materiálového toku
- Human – simulace lidských operací

6.2.5 Pracovní plocha

Tato část okna představuje hlavní vizualizační prostor, kde probíhá simulace výrobního procesu. Zobrazuje modely strojů, robotů, dopravníků, přípravků, senzorů a dalších komponent. V horní části se nachází rychlé menu, které umožňuje provádět základní operace, jako je zobrazení objektů, jejich přesun, nebo měření vzdálenosti.



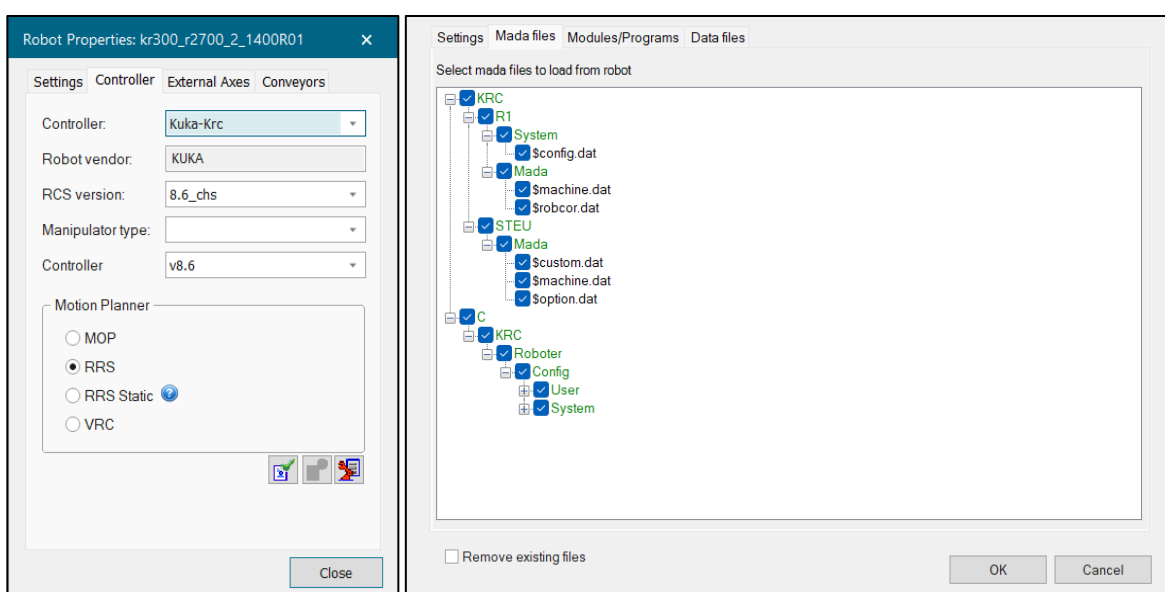
Obrázek 44: Rychlé menu

6.3 Konfigurace robotů

Před zahájením návrhu offline programů je nezbytné správně nakonfigurovat robot tak, aby jeho nastavení v Process Simulate přesně odpovídalo konfiguraci robota v reálné výrobní lince.

6.3.1 Nastavení Kontroléru

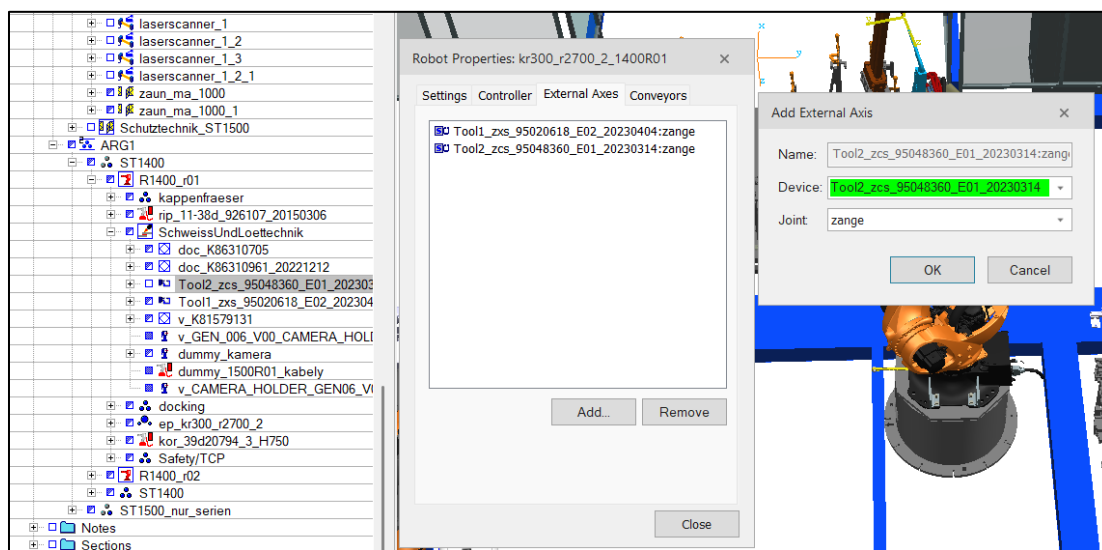
Ke konfiguraci kontroléru se přistupuje kliknutím na samotný robot a prokliknutím do menu „Robot Properties“. V sekci „Controller“ se následně zobrazí jednotlivé části kontroléru. V této sekci je vybrán typ kontroléru Kuka – KRC (Kuka Robot Controller). Pro výpočet pohybu robota lze použít buď výchozí plánovač pohybu MOP, nebo je možné přepnout na režim RRS (Realistic Robot Simulation). Při využití RRS jsou trajektorie počítány na základě připojení k RCS (Robot Controller Software) a softwaru poskytnutého výrobcem robota. Aby bylo možné inicializovat RCS modul je nutné nahrát strojní data konkrétního robota, které obsahují nezbytné parametry a konfigurace potřebné pro správné propojení s RCS a funkční simulaci. V tomto případě byla zvolena odpovídající RCS licence, správně nastaven kontrolér robota a následně aktivován režim RRS.



Obrázek 45: Nastavení kontroléru a strojních dat

6.3.2 Konfigurace externích os

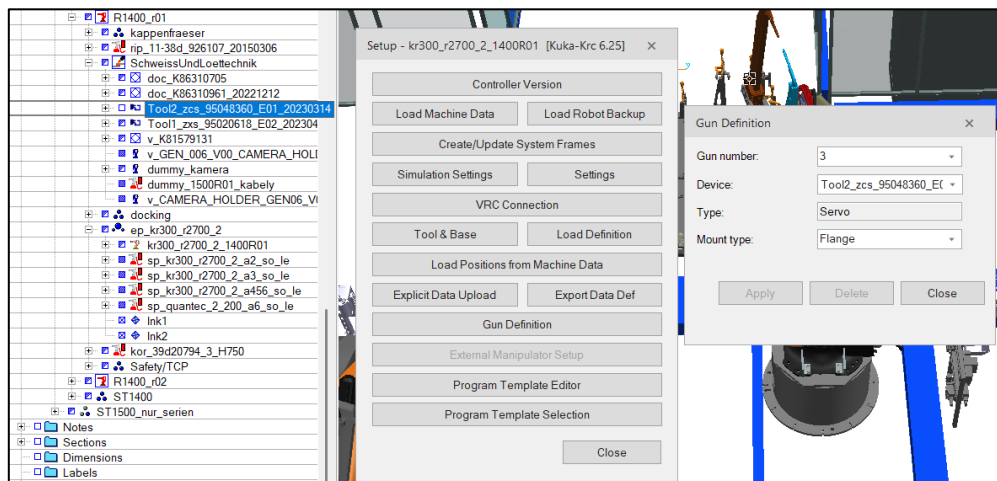
Externí osy, které robot ovládá mimo standardní osy svého ramene je nutné v prostředí Process Simulate nadefinovat. V tomto případě se jedná o dvojici motorů ve svařovacích kleštích. Definice externí osy se provádí v sekci „Robot Properties“, konkrétně v záložce „External Axes“. Po rozkliknutí tlačítka „Add“ je možné vybrat jednotlivé svařovací kleště.



Obrázek 46: Definice svařovacích kleští

6.3.3 Definice svařovacích kleští

Po definování externích os je nutné definovat samotné svařovací kleště. V menu „Robot Setup“ a následně v „Gun Definition“ jsou kleště vybrány z Operation Tree. Dále je u možnosti „Mount Type“ zvoleno uchycení typu „Flange“, protože svařovací kleště jsou připojeny přímo na přírubě robotu.

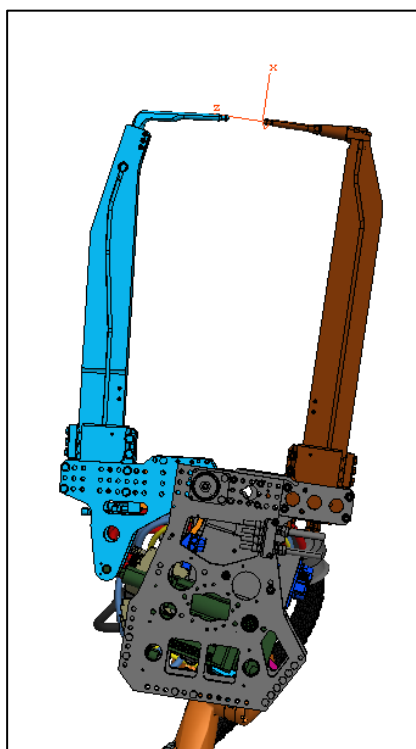


Obrázek 47: Definice svařovacích kleští

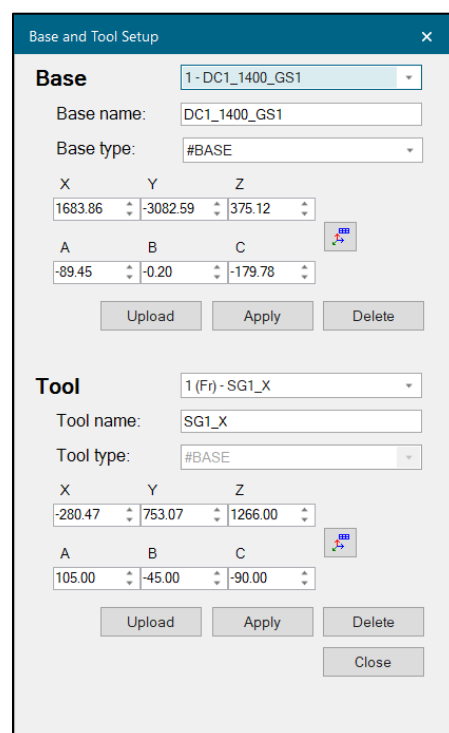
6.3.4 Definice Tool a Base

Ke správnému programování robotu je nezbytné definovat základní souřadnicové systémy, jako jsou Tool a Base. Souřadnicový systém World, definovaný výrobcem, je u robotu KUKA umístěn v jeho patě. Souřadnicový systém koncového nástroje (TOOL) má ve svém počátku TCP (Tool Center Point), což je středový bod nástroje (obr. 48). Tento bod může být umístěn například na hrotu svařovacího hořáku nebo na pevné elektrodě svařovacích kleští, v závislosti na konkrétní aplikaci a typu nástroje. Souřadnicový systém BASE pak definuje konkrétní pracovní stanici nebo objekt, na který robot působí. Jednotlivé parametry lze definovat v sekci „Tool & Base“.

Pro definici TCP na svařovacích kleštích je nejprve nutné vytvořit souřadnicový systém ve středu pevné elektrody pomocí funkce „Create Frame at Circle Center“. Tím je zajištěno přesné umístění bodu TCP, avšak jeho orientace nemusí být správně zarovnána s kleštěmi. Proto je vhodné vytvořit další souřadnicový systém na jiném, rovném prvku kleští, například na jejich hraně. Tento zarovnaný referenční souřadnicový systém je následně využit k získání správné orientace a k zarovnání souřadnicového systému elektrody tak, aby byl kolmý vůči nástroji. U stanice (báze) stačí pouze přepnout na funkci „Set Origin Pick Intent“ a při výběru v menu „Tool and Base“ vybrat konkrétní stanici.



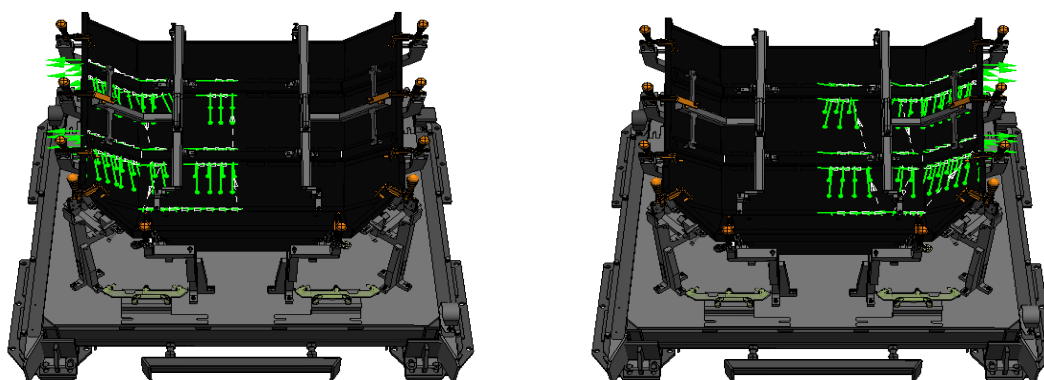
Obrázek 48: Vytvořené TCP na svařovacích kleštích



Obrázek 49: Nastavení Tool and Base

6.4 Návrh robotických programů

Návrh robotických programů spočívá ve vytváření drah k svařovacím bodům, jejichž pozici specifikoval zákazník. Je tedy nutné jednotlivé body rozdělit mezi příslušné roboty, jednotlivé kroky, a správně určit strategii posloupnosti svařování z důvodu dodržení taktu (obr. 50). Vzhledem k tomu, že v tomto procesu pracují dva roboty, je nezbytné nastavit vzájemné blokace, které zajistí koordinovanou činnost obou robotů a zabrání vzniku kolizi mezi nimi.



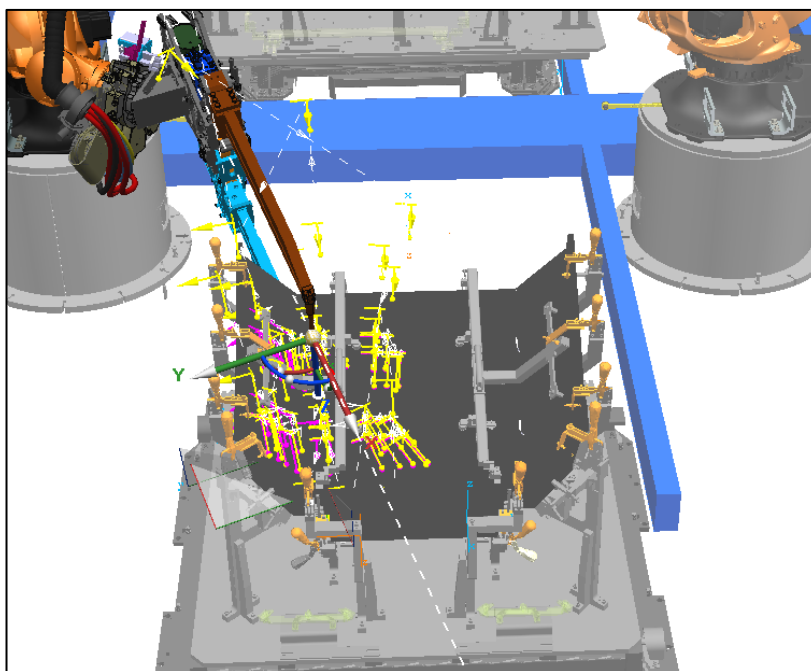
Obrázek 50: Rozdělení svařovacích bodů

V první části je potřeba přidat danou operaci se svařovacími body do Path Editoru a přizpůsobit si jednotlivé sloupce (obr. 51).

Path Editor (2) - kr300_r2700_2_1400R01								
0.00 + 0.01								
Paths & Locations	Config	Acc	Tool Nr	Base Nr	Motion	Speed	Zone	OLP Commands
ST1500_DC1_GS1_R1400R01_Tool1								
69_62810-4024_PS_A_0210_X		100 % (d...		0 - Worl...	PTP	100 %	FINE	
69_62810-4024_PS_A_0209_X		100 % (d...		0 - Worl...	PTP	100 %	FINE	
69_62810-4024_PS_A_0208_X		100 % (d...		0 - Worl...	PTP	100 %	FINE	
69_62810-4024_PS_A_0207_X		100 % (d...		0 - Worl...	PTP	100 %	FINE	
69_62810-4024_PS_A_0206_X		100 % (d...		0 - Worl...	PTP	100 %	FINE	

Obrázek 51: Svařovací body v Path Editoru

Tvorbu drah lze provést takzvaným „vyjížděním“ ze svařovacích bodů. Po zvolení funkce „Jump Assigned Robot“ se zobrazí robot v daném svařovacím bodě. Následně je možné polohu robotu zkopírovat a upravit pomocí funkce „Add Location Before/After“ a vytvořit tak plynulý přechod k dalšímu bodu.



Obrázek 52: Návrh offline programu

Jak už procesní, tak i pohybový bod mají určité atributy, na které je potřeba během tvorby programů dbát, u svařovacího bodu se jedná zejména o:

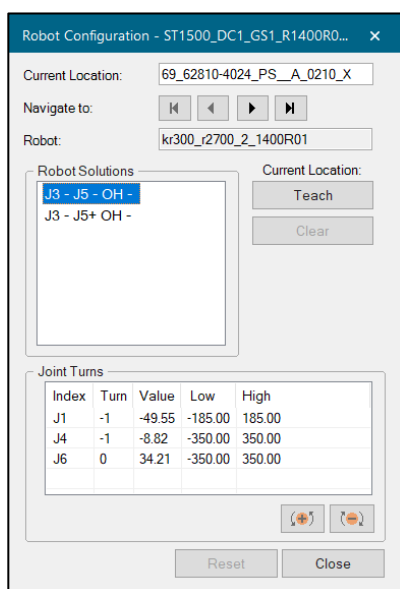
- Gun ProgNr1 – odkazuje na program ve svařovacím zdroji, ve kterém jsou definovány svařovací parametry specifické pro daný svařovací bod. Tyto parametry jsou přizpůsobeny konkrétní kombinaci materiálu.
- ThicknessTol – povolená odchylka v tloušťce materiálu, která je akceptovatelná pro daný svařovací bod. Musí se shodovat s hodnotou uvedenou ve svařovacím programu svařovacího zdroje.

Svařovací bod se následně přejmenuje dle Spot-indexu (obr. 53) vytvořeného svařovacím technikem. Do sekce OLP Commands se zároveň vloží původní název jako poznámka, aby bylo možné bod zpětně dohledat.

Weld point number	Spot - Index	X	Y	Z	Number of parts	F Force [KN]	Welding current inc. Sealing	IS welding current [KA]	t [msec] / welding time
69_62400-4003_PS_A_0001_X	22000	-1490.59	1067.5	923.01	2	4.15	4.50	9.36	539

Obrázek 53: Spot-index tabulka

Ostatní parametry je nutné kontrolovat u všech bodů. Zrychlení a rychlost jsou z důvodu dodržení taktu nastaveny na 100 %. Tool a Base musí odpovídat příslušné stanici a svařovacím kleštím, které se v daném bodě používají. Dále je nutné nastavit otevření kleští Ext1 dle potřeby nebo „Active Gun“, tedy aktuálně používané kleště v daném programu. Ve většině případů je použit pohyb typu PTP, avšak ve stísněných prostorech nebo při výrazné rotaci kleští z jedné orientace do druhé může být vhodné využít lineárního pohybu. Následně je nutné určit konfiguraci robotu v každém bodě trajektorie. Konfigurace robotu určuje, jak budou jeho klouby nastaveny v daném bodě. Konfiguraci je možné nastavit již při vytvoření bodu, nebo využít funkci „Auto Tech“, která automaticky přiřadí konfiguraci ke každému bodu v programu.



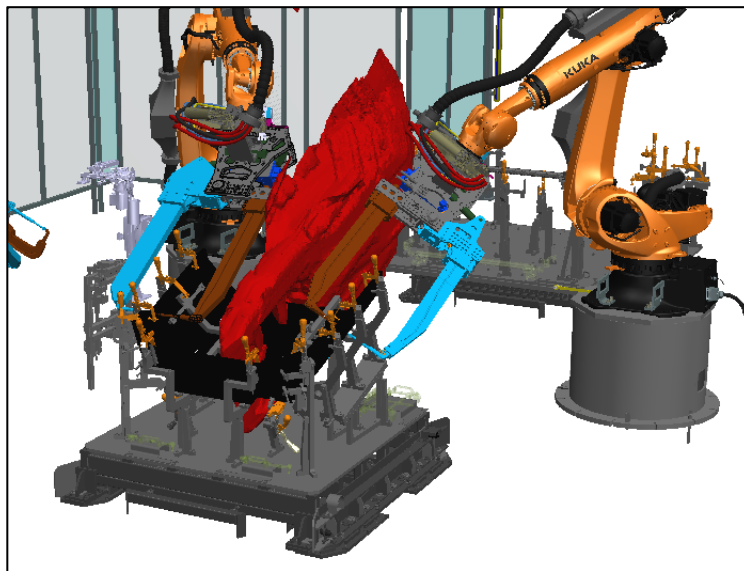
Obrázek 54: Nastavení konfigurace robotu

Po automatickém nastavení konfigurace pomocí funkce „AutoTeach“ je nezbytné celý program spustit a pečlivě zkontrolovat, zda se konfigurace mezi jednotlivými lokacemi nemění. Může dojít k situacím, kdy robot přetáčí kleště do jiné konfigurace uvnitř přípravku. Také je třeba ověřit, že robot při dané konfiguraci nepoškodí svazky kabelů nebo jiné příslušenství.

6.4.1 Blokace mezi roboty

Vzhledem k tomu, že v lince pracuje dvojice robotů, je nutné zajistit jejich vzájemnou synchronizaci a předejít možným kolizím. Tomu lze předcházet již ve fázi plánování, vhodným rozdělením svařovacích bodů mezi jednotlivé roboty. Kromě toho slouží

k zabránění kolizím také blokace, které si jako sadu signálů roboty přiřazují nebo uvolňují. Ke zjištění možných vzájemných kolizí robotů lze využít funkci „Automatic Interference“, která vykreslí objemové obálky robotů (obr. 55). Červeně označí zónu, kde se obálky robotů překrývají a přidá komentář do posledního bodu před vstupem do této sdílené obálky a prvního bodu po jejím opuštění.



Obrázek 55: Vykreslení překrytí obálek robotů

6.4.2 Export programů

Proces exportu je realizován prostřednictvím funkce „Download to Robot“, která umožňuje přenos programu na specifikované cílové umístění. Po dokončení exportu je vygenerován report, jenž obsahuje podrobnosti o úspěšnosti přenosu a případných chybách či varování.

```

INI                                     Inicializace programu
PTP HOME Vel=100 % PHOME                Home pozice robotu
;
;Release All Stations
OUT 57 ' ' State= TRUE                 Uvolnění stanice
;
;Check Docked Tool                      Kontrola otevřené spojky
WAIT FOR ( NOT IN 547 'STAUBLI Otevrena' ) AND ( IN 548 'STAUBLI Zavrena' )
WAIT FOR ( IN 549 'DC1 Nastroj pripojen BGE10/1' ) AND ( IN 550 'DC1 Kod nastroje bit0 BGE10/2' )
;
;Wait for ENTRY to Station ST1400_DC2_GS1   Kontrola připojeného nástroje
ROB.WaitEntry IN: 57, PartCheck IN: 0, (0=NO PartCheck) → Oprávnění k vjezdu
;
PTP P836 CONT Vel=100 % P836 Tool[1]:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1
PTP P834 CONT Vel=100 % P834 Tool[1]:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1
PTP P832 CONT Vel=100 % P832 Tool[1]:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1
PTP P833 CONT Vel=100 % P833 Tool[1]:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1
PTP P831 CONT Vel=100 % P831 Tool[1]:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1
;
; Weldpoint :69_62800-4006_PS_A_0104_X      Svařovací bod
SG.SPOT PTP WP10103 Vel=100 % FWP10103 ServoGun=f11: Gun Cont=NO Toolf11:SG1_X Base[5]:1400_DC2GS1

```

Přejezdové body

Obrázek 56: Část svařovacího programu

7 KALIBRACE A SERVISNÍ PROGRAMY

Tato část diplomové práce se zaměřuje na kalibrační procesy a servisní operace včetně detailního popisu jejich online realizace.

7.1 Kalibrace a příprava robotu na provoz

Ještě před samotným nahráním offline programů je nutné provést několik úkonů souvisejících s uvedením do provozu neboli „IBN“ (Inbetriebnahme), a zároveň vytvořit program pro uchycení svařovacích kleští prostřednictvím robotické spojky.

7.1.1 Justáž robotu

Pro zajištění správného najíždění robotu do předem naprogramovaných pozic je nutné provést jeho justáž, tedy zarovnání mechanické a elektronické polohy. Tento proces vyžaduje uvedení robotu do předem definované justážní polohy, s prázdnou robotickou spojkou a následné použití justážní soupravy SEMD/MEMD (Standard Electronic Mastering Device / Micro Electronic Mastering Device) (obr. 58).



Obrázek 58: Umístění SEMD



Obrázek 57: Justážní sada

Jakmile je snímač MEMD/SEMD našroubován na měřicí patroně (obr. 57) a zahájen proces masteringu, robot se pohybuje v kladném směru osy, dokud hrot senzoru nedorazí na seřizovací hranu. Při detekci sestupné a vzestupné hrany je následně vypočítán průsečík, který odpovídá nulové pozici dané osy. Osa je následně srovnána podle zjištěných dat, která jsou uložena ve strojových datech.

Následně se provádí podobný proces justáže, nazývaný „Teach Offset“, při kterém jsou kleště již upevněny na robotu. Tento proces umožňuje kompenzovat odchylky inkrementů při dosahování bodů, které vznikají v důsledku pružnosti komponent robotu.

7.1.2 Uchycení kleští

Vzhledem k tomu, že robot nemá pevně přichycený efektor a umožňuje výměnu nástrojů prostřednictvím robotické spojky, je nutné vytvořit programy pro jejich automatické uchycení a odložení. Tyto programy je vhodné vytvářet online přímo u robotu, aby bylo zajištěno přesné a spolehlivé uchycení. Nedostatečná přesnost pohybových bodů v programu by mohla vést k poškození spojky nebo samotného nástroje. Robotická spojka obsahuje tři středící čepy, které musí s maximální přesností zapadnout do odpovídajících otvorů na svařovacích kleštích. Během najíždění robotu do těchto otvorů nesmí dojít k žádnému vychýlení svařovacích kleští, jelikož by to znamenalo nesprávné zarovnání, což může způsobit tření čepů o hrany otvorů. Po úplném zasunutí čepů dojde k roztažení fixačních kuliček, čímž se kleště bezpečně uchytí.

Pro zajištění přesného zarovnání robotické spojky vůči svařovacím kleštím se využívá systém „Dockhilfe“, což je speciální sada (obr. 59) vyvinutá společností Stäubli. Tento systém se skládá ze dvou částí, které jsou upevněny jak na straně spojky robotu, tak svařovacích kleští. Při přiblížení obou částí lze okamžitě vyhodnotit přesnost vyrovnaní na základě styčných ploch a hran (obr. 60).



Obrázek 59: Pomocná sada „Dockhilfe“



Obrázek 60: Umístění obou částí sady

7.1.3 Proměření TCP a báze

Při offline programování se vychází z ideální báze nebo TCP, avšak vlivem montážních nepřesností nebo deformací konstrukce mohou vznikat odchylky mezi simulací a reálným prostředím. Proto je vhodné po nahrání programu provést nové zaměření báze nebo TCP, aby byla zajištěna správná poloha nástroje vůči svařovanému dílu. Pro proměření TCP je možné využít tyto metody:

Určení počátku souřadnicového systému

1. 4bodová metoda XYZ

2. Reference XYZ

Určení orientace souřadnicového systému

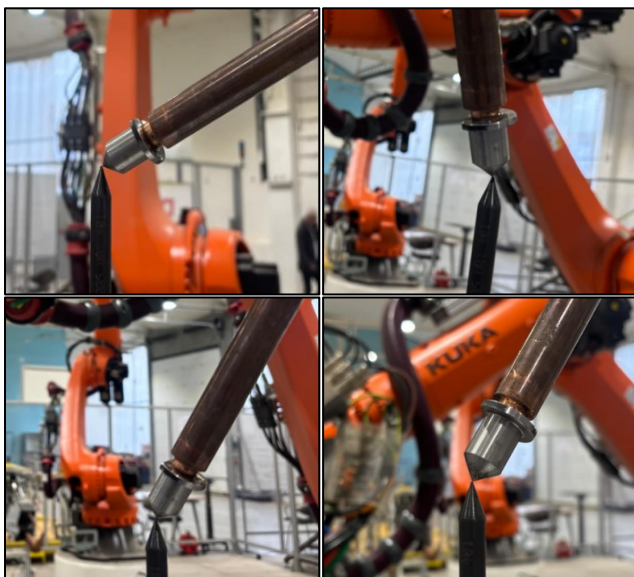
3. Globální ABC

4. 2bodová metoda ABX

V případě čtyřbodové metody XYZ (obr. 62) je nutné mít přesný referenční nástroj, ke kterému je potřeba najet pomocí TCP proměřovaného nástroje ze čtyř různých stran. Jako referenční nástroj je vhodné použít například jehlu nebo jiný ostrý objekt, který umožní maximální přesnost zaměření. Pokud jsou zaměřovány svařovací kleště, tak se na pevnou elektrodu nasadí speciální čepička s hrotem, která slouží jako referenční bod. Při každém kalibračním bodu je hodnota TCP uložena aktivací funkce „Touch Up“, která zajistí záznam aktuální polohy nástroje. Po dokončení procesu robot provede výpočet výsledné hodnoty TCP (obr. 61).

Č.: 1	Název: SG1_X					
Vyrovnajte nástroj z různých směrů na jeden referenční bod						
Kalibrační bod		Transformace				
 Měřicí bod 1	X	-831.31 mm	Y	1472.58 mm	Z	1925.20 mm
	A	21.08 °	B	12.65 °	C	-103.03 °
 Měřicí bod 2	X	-266.89 mm	Y	2144.44 mm	Z	1681.65 mm
	A	39.32 °	B	42.52 °	C	-108.34 °
 Měřicí bod 3	X	-97.19 mm	Y	2394.81 mm	Z	1304.01 mm
	A	-27.84 °	B	67.26 °	C	-177.60 °
 Měřicí bod 4	X	-46.67 mm	Y	2347.55 mm	Z	968.07 mm
	A	82.43 °	B	42.59 °	C	-64.95 °
Výsledek proměření						
X	-130.33 mm	A	0.00 °			
Y	791.49 mm	B	0.00 °			
Z	1264.55 mm	C	0.00 °			
Chyba měření: 2.66						

Obrázek 61: Výsledek proměření



Obrázek 62: Provedení 4bodové metody

Pro určení orientace ABC lze využít jednu ze dvou dostupných metod. Výrazně přesnější je převzít orientaci přímo z prostředí Process Simulate.

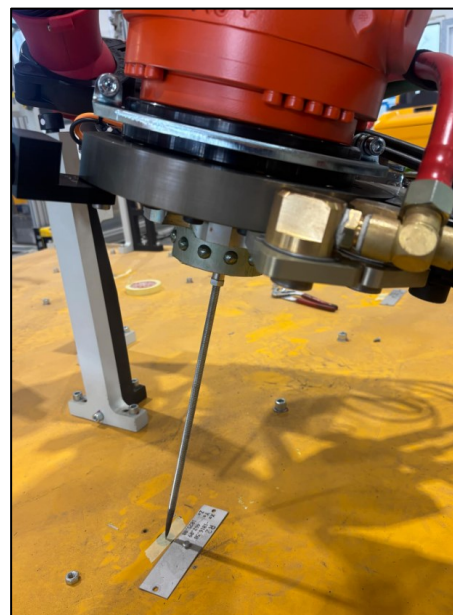
Roboty KUKA umožňují dvě metody zaměření báze:

- Tříbodová metoda – definice počátku, kladné osy x a y
- Nepřímá metoda – najetí do 4 bodů se známými koordinátami

Pro zaměření báze byla zvolena „Nepřímá metoda“, která spočívá v najetí do čtyř známých „RPS“ (Reference Point Systém) bodů, vztažených k proměřované bázi, jejichž souřadnice musí být předem známy (obr. 63). Na základě těchto bodů robot vypočítá výslednou bázi. Nejprve je nezbytné vytvořit TCP (Tool Center Point) na referenčním objektu, který je upevněn na spojku robotu a slouží k měření báze, v tomto případě se jedná o speciální měřicí jehlu. Následně se hrotem této jehly přiblíží k centru RPS bodů (obr. 64), jejichž pozice jsou uloženy a odpovídající souřadnice jsou zaznamenány do řídicího systému robotu.



Obrázek 63: RPS bod se souřadnicemi



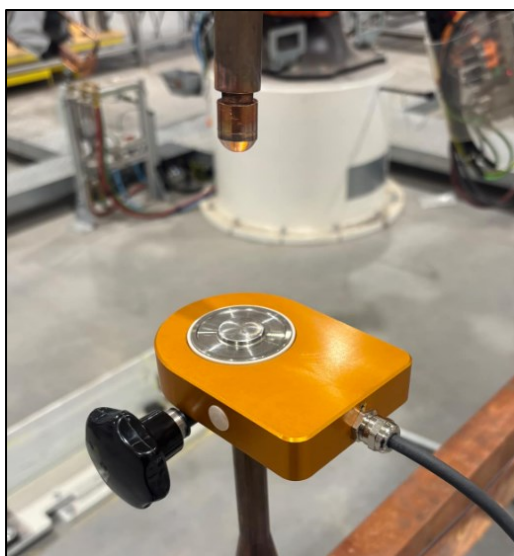
Obrázek 64: Provedení nepřímé metody

R01	Base											
	Simulace						Reálné měření					
	X	Y	Z	C	B	A	X	Y	Z	RX	RY	RZ
1400_DC2_GS1	1670,08	-3079,700	612,670	180,000	0,000	-90,000	1676,523	-3057,566	599,785	179,787	0,147	-89,982
1500_DC1_GS1	1669,990	2426,380	797,660	180,000	-20,000	-90,000	1678,889	2423,736	795,913	179,795	-19,825	-89,696
R01	Tool											
	Simulace						Reálné měření					
	X	Y	Z	C	B	A	X	Y	Z	RX	RY	RZ
Tool 1	-133,66	792,43	1265,99	105,2	-44,76	90	-130,33	791,49	1264,55	0	0	0
Tool 2	-729,13	0	661,22	180	60	180	-727,21	0	559,65	0	0	0

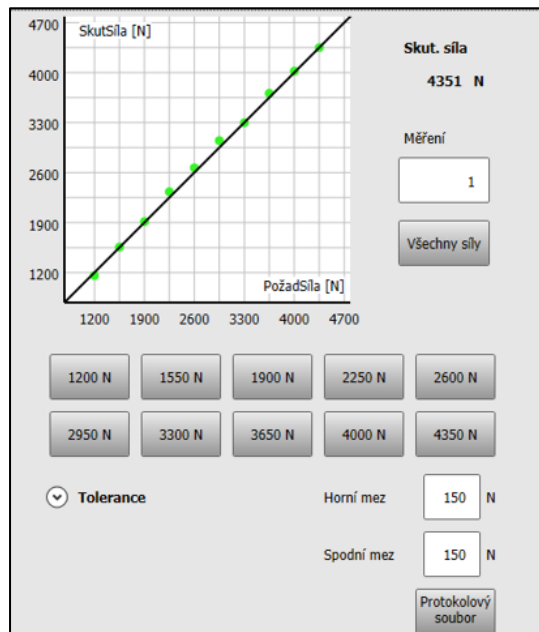
Tabulka 2: Tabulka simulačních a naměřených hodnot

7.1.4 Silová kalibrace kleští

Silová kalibrace slouží k ověření upínací síly elektrod a verifikaci, zda vyvíjejí správný tlak na daný materiál. Pro kalibraci se používá speciální sada CDS10, která obsahuje tenzometr, jenž se umístí na pevnou elektrodu svařovacích kleští (obr. 65). Před spuštěním kalibrace je nutné nastavit toleranci, v níž se test pohybuje a vybrat případně všechny nebo konkrétní síly, které je nutné zkalibrovat.



Obrázek 65: Upevnění senzoru na svařovacích kleštích



Obrázek 66: Nastavení kalibrace na panelu robota

Po spuštění kalibrace začne pohyblivá elektroda „tukat“ do senzoru předem definovanou silou, přičemž na panelu robota je zobrazen průběžný výsledek kalibrace, který porovnává skutečnou a požadovanou sílu. Výsledek je nakonec zobrazen jako série zelených nebo červených teček, v závislosti na výsledku kalibrace jednotlivých silových úrovní (obr. 66).

7.2 Servisní programy

Před zahájením testování offline programů je nezbytné vytvořit servisní programy pro údržbu svařovacích kleští, jako je frézování elektrodových čepiček nebo program pro kontrolu nástroje.

7.2.1 Frézování elektrodových čepiček

V úvodní fázi tvorby programu jsou kleště srovnány tak, aby čepičky elektrod byly vůči frézce pod pravým úhlem. Tím je zajištěn optimální kontakt elektrod s břity frézy, což umožňuje rovnoměrné opracování povrchu čepiček. Následně jsou naprogramovány dráhy pohybu robotu k břitům frézy, kde je vytvořena frézovací pozice (obr. 67). V této pozici se kleště uzavrou, čímž dojde k ofrézování čepiček. V závěrečné fázi programu je definován bod, ve kterém robot sevře svařovací kleště, čímž změří množství ofrézovaného materiálu z elektrodových čepiček. Poté robot provede kontrolní svár, pro kontrolu funkčnosti kleští a zbavení se zbylého materiálu po frézování.



Obrázek 67: Svařovací kleště ve frézovací pozici

7.2.2 Výměna elektrodových čepiček

Pokud se počet cyklů frézování přiblíží k hraniční hodnotě, znamená to, že elektrodová čepička dosahuje konce své životnosti a je nutné ji vyměnit. Výměna probíhá pomocí speciálních prvků umístěných na frézce, které umožňují přesné sejmutí opotřebované elektrodové čepičky a následnou instalaci nové. Na začátku je nutné stanovit výchozí pozici, kde musí být elektrody svařovacích kleští orientovány pod pravým úhlem vůči frézce, ze které bude robot najíždět na jednotlivé prvky frézy. Nejprve robot přistaví pevnou část kleští před snímač za účelem ověření jeho funkčnosti. Následně provede kontrolu přítomnosti

elektrodové čepičky určené k výměně. Po této verifikaci přistupuje k sejmutí elektrodových čepiček z pohyblivého i pevného ramene kleští. Tento proces probíhá v pracovní poloze obdobné frézovací, avšak namísto frézování dochází k uchopení elektrodové čepičky speciálními noži a jejímu sejmutí rotačním pohybem. Po odstranění čepičky robot opětovně najede na pozici detekce a provede kontrolu úspěšnosti operace. Následně přistoupí k nasazení nových elektrodových čepiček, které jsou umístěny v přední části zásobníku (obr. 68). Po úspěšné výměně elektrodových čepiček se přesune k fixovací desce, kde provede jejich mechanické zajištění stlačením, čímž zajistí jejich uchycení. Celý proces je zakončen inicializací elektrodových čepiček, která probíhá obdobným způsobem jako při frézování.



Obrázek 68: Pozice nabrání čepiček

7.2.3 Kontrola elektrod svařovacích kleští

Tento servisní program slouží ke kontrole kleští, zdali nejsou deformované důsledkem kolize. V rámci programu je vytvořena referenční pozice, kde robot najede čepičkou do kruhového otvoru a na čepičku je nasazen speciální měřicí nástroj. Pokud lze tímto nástrojem volně otáčet kolem čepičky, znamená to, že elektrody nejsou deformovány.



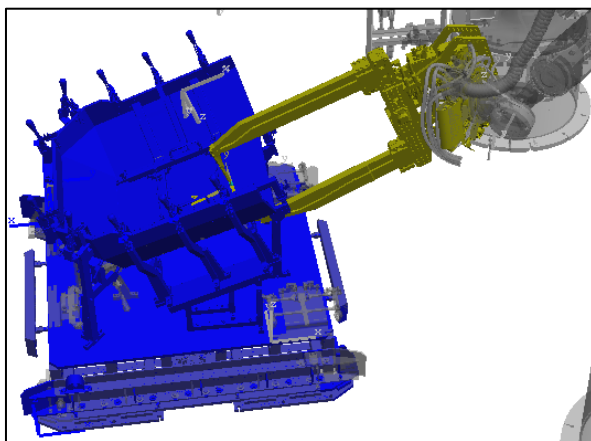
Obrázek 69: Referenční pozice

8 EXPORT A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI OFFLINE PROGRAMŮ

V této kapitole je popsána funkčnost offline programů a možné nedostatky, které se mohou objevit při jejich testování v reálném prostředí. Tyto nedostatky jsou identifikovány, analyzovány a následně vyřešeny.

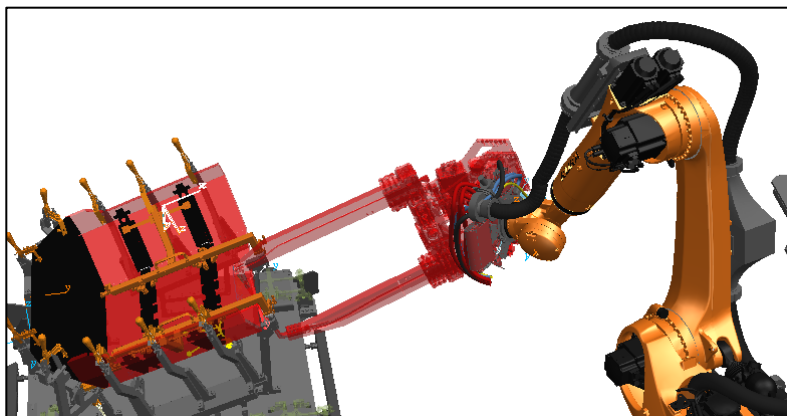
8.1 Collision Viewer

Před exportem programu je vhodné využít funkci „Collision Viewer“, kterou prostředí Process Simulate nabízí. Tato funkce umožňuje definovat dvojice objektů, mezi nimiž se mají kontrolovat možné kolizní situace – v tomto případě například dokovací stanici a svařovací kleště (obr. 70).



Obrázek 70: Definice dvojice kolizních objektů

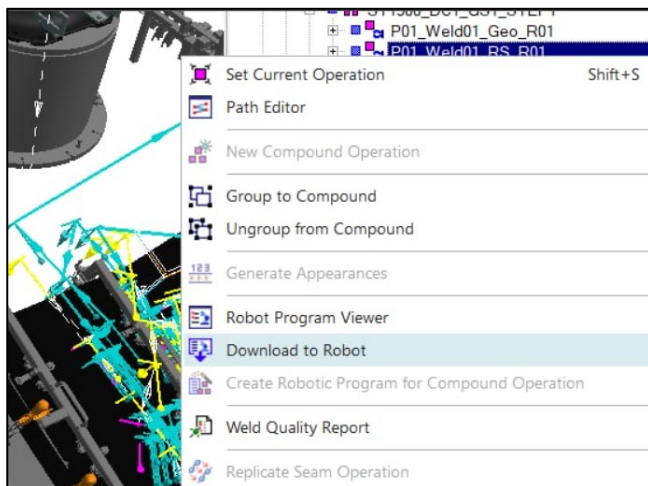
Při následném spuštění simulace jsou automaticky vyhodnoceny všechny pohybové dráhy napříč jednotlivými programy. Pokud dojde ke kolizi, je tato událost vizuálně označena červenou barvou (obr. 71) a zaznamenána do přehledu událostí. Kromě přímého kontaktu lze definovat i minimální bezpečnostní vzdálenost, jejíž překročení je signalizováno žlutě. Veškeré kolizní události jsou přehledně uloženy ve výstupním okně.



Obrázek 71: Detekce kolize

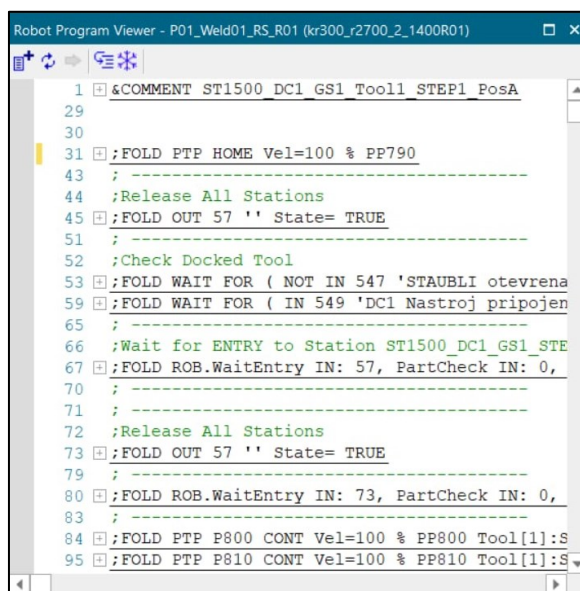
8.2 Export offline programů

Pro export offline programů je nutné v seznamu „Operation Tree“ vybrat příslušnou robotickou operaci a z nabídky vybrat možnost „Download to Robot“ (obr. 72). Následně je třeba specifikovat umístění, kam bude exportovaný program uložen.



Obrázek 72: Export programu

Process Simulate také disponuje nástrojem „Robot Program Viewer“, který slouží k vizualizaci a správě robotických instrukcí v rámci simulačního prostředí (obr. 73). Tento nástroj umožňuje uživateli přehledně kontrolovat strukturu, logiku a sekvenci pohybových a řídicích příkazů.



Obrázek 73: Náhled robotického programu pomocí „Robot Program Viewer“

8.3 Implementace programů

Při verifikaci offline programů je nezbytné zohlednit technologické požadavky bodového svařování, zejména zajištění kolmosti pevné elektrody vůči svařovanému materiálu. K tomu je vhodné aktivovat režim „Teach mode“ na ovládacím panelu robotu, který umožňuje zastavení robotu v definované poloze a provedení potřebné korekce trajektorie. Pro ověření mechanické funkce svařovacího procesu bez aplikace elektrického proudu je aktivován režim „bez proudu“, v němž dochází k uzavření kleští v procesním bodě bez realizace svaru. Celý proces je testován v režimu „Motion step“, který umožňuje sekvenční provádění jednotlivých pohybových instrukcí, přičemž každý pohybový bod je vykonán samostatně a jeho potvrzení vyžaduje opakované stisknutí tlačítka „Start“.

8.3.1 Testování drah

Při verifikaci naprogramovaných drah robotu s cílem optimalizace jednotlivých bodů, je nezbytné věnovat zvýšenou pozornost také svazku kabelů připojenému ke kleštím. Právě v této oblasti téměř došlo ke kolizi. V jednom případě došlo k zachycení kabelového svazku o pátou osu robotu, což mohlo vést k jeho přetržení. V jiném případě kolidovalo vstupní pouzdro kabelu s ramenem robotu, což mohlo vést k jeho mechanickému poškození.



Obrázek 75: Kolize vstupního pouzdra s ramenem robotu



Obrázek 74: Natáhnutí svazku kabelů o pátou osu robotu

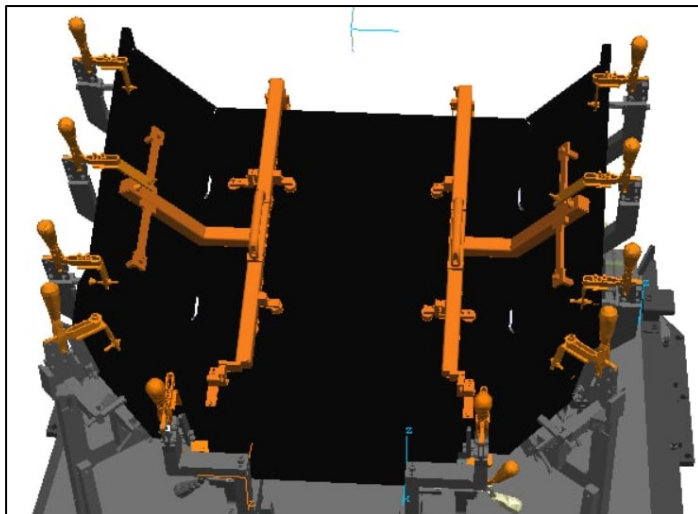
Oba tyto případy byly vyřešeny úpravou drah robotu. Kolizní situace se svazkem kabelů byla vyřešena zavedením mezipozice, ve které robot nejprve natočí pátou osu do bezpečné

polohy, čímž umožní svazku kabelů přirozeně překonat tuto osu a teprve následně pokračuje v pracovním cyklu. Druhý případ, týkající se kolize vstupního pouzdra kabelu s ramenem robotu, byl řešen úpravou pohybové sekvence šesté osy nejen v místě samotného kontaktu, ale i v přechodových bodech před a za touto oblastí. Tímto způsobem byla zajištěna dostatečná vzdálenost mezi kabelovým pouzdem a ramenem robotu, čímž se eliminovalo riziko opakovaných kolizí.

Na stanici 1500 DC1 GS1 bylo nezbytné provést korekci polohy pevné elektrody svařovacích kleští směrem k svařovanému plechu v kladném směru osy Z. Již při prvním svařovacím bodu bylo patrné, že je nutné posunout bod svaru přibližně o 2 mm tak, aby elektroda optimálně dosedala na povrch materiálu. Pro implementaci této úpravy byly k dispozici dvě alternativy: hromadná korekce všech svařovacích bodů prostřednictvím funkce „Offset“, která umožňuje posunutí vybraných bodů o stanovenou hodnotu, nebo manuální úprava jednotlivých bodů v programu. Byla zvolena druhá varianta, neboť se při detailní analýze ukázalo, že odchylka se vyskytuje pouze v přední části přípravku, zatímco ostatní svařovací body byly již správně zarovnané se svařovaným materiálem.

8.4 Možnosti detekce chybného zakládání materiálu

Pro správnou fixaci svařovaného materiálu na svařovacích stolech se používají šablony a ruční upínky. Šablony slouží k přesnému ustavení svařovaných dílů, zatímco ruční upínky zajišťují jejich pevné přidržení v požadované poloze. Nesprávné založení šablon, nedostatečné dovření upínek nebo jejich úplné opomenutí může vést k uvolnění nebo špatné poloze svařovaného materiálu. V důsledku toho hrozí riziko kolize svařovacích kleští s přípravkem nebo samotným dílem.



Obrázek 76: Fixace dílů pomocí šablon a upínek

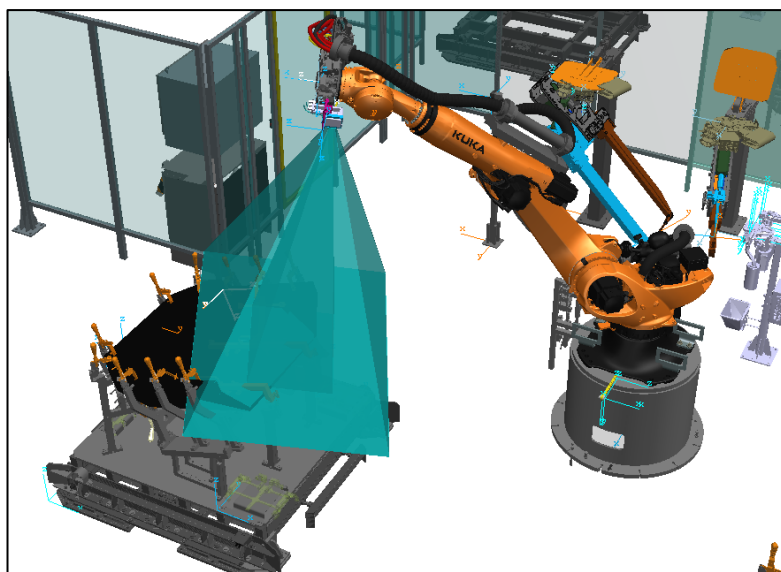
Vzhledem k tomu, že dokovací stanice nejsou připojeny k elektrické síti, není možné je vybavit běžně používanými indukčními snímači pro ověřování správného založení materiálu. Ačkoli je odpovědnost za správné ustavení a upnutí dílů na straně operátora, je vhodné zvážit dodatečné možnosti kontroly, které by minimalizovaly riziko kolize.

8.4.1 Plug in řešení

Pro zvýšení spolehlivosti a automatizace procesu by bylo možné implementovat indukční snímače pro detekci přítomnosti materiálu a pneumatické upínací mechanismy na dokovacích stanicích. Indukční snímače by detekovaly materiál, zatímco pneumatické upínky by zajistily stabilní a přesné upnutí dílů během celého procesu. Pro realizaci tohoto řešení by bylo nutné vyvinout „plug-in“ systém, který by umožnil snadné připojení každé dokovací stanice k elektrické síti. Toto řešení by však představovalo značné investiční náklady, protože by bylo třeba vybavit každou dokovací stanici potřebnými prvky.

8.4.2 Kontrola pomocí kamery

Alternativním řešením pro zajištění správného založení materiálu by byla implementace kamerového systému umístěného přímo na robotu (obr. 77). Tento systém by umožnil vizuální kontrolu celé dokovací stanice v reálném čase. Kamery na robotu by snímaly stanici a analyzovaly správnost umístění dílu, šablon a upínacích mechanismů. Uvedené řešení by bylo ekonomicky výhodnější než předchozí varianta, která zahrnovala indukční snímače a pneumatické upínací mechanismy, protože by nevyžadovalo zásadní investice do vybavení každé dokovací stanice.



Obrázek 77: Návrh integrace kamery na rameno robotu pro vizuální kontrolu dokovací stanice.

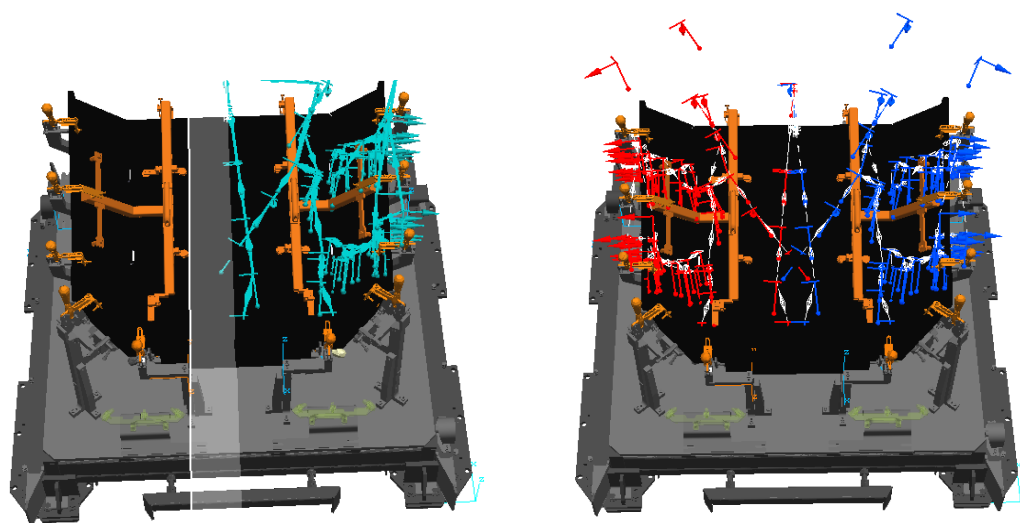
ačkoliv je toto řešení investičně úspornější ve srovnání s variantou implementace indukčních snímačů a pneumatických upínačů, není bez určitých provozních omezení. Robot by musel nad jednotlivými dokovacími stanicemi vykonávat specifické pohyby za účelem nasnímání jejich aktuálního stavu, což by mohlo vést k prodloužení výrobního cyklu a tím ke snížení celkové produktivity procesu. Dále by bylo nezbytné zajistit vhodné podmínky pro kvalitní snímání obrazu, zejména stabilní a dostatečné osvětlení, a současně optimalizovat umístění kamery na robotickém rameni s ohledem na maximální pokrytí kontrolovaných oblastí.

Výběr konkrétního řešení by proto představoval kompromis mezi vyšší vstupní investicí a kratším taktem v případě využití senzoriky a pneumatických upínačů, nebo nižšími pořizovacími náklady za cenu prodloužení výrobního cyklu při použití kamerového systému na robotu.

8.5 Využití funkcí „Mirror“ a „Interpolate Location Orientation“

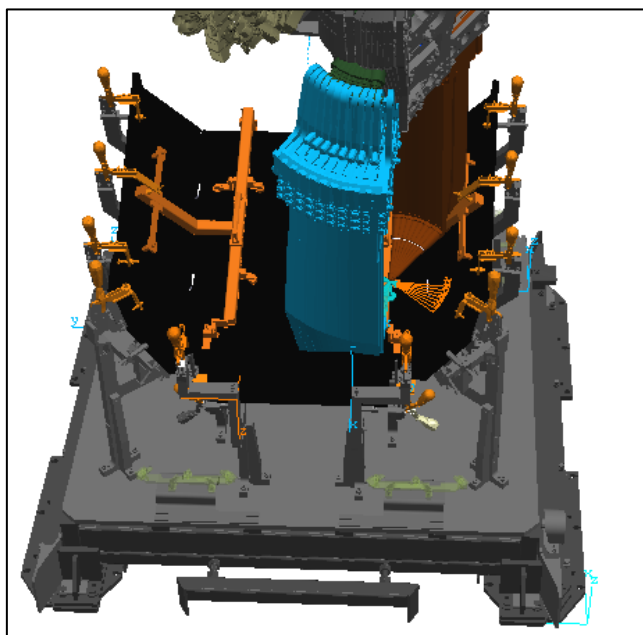
Přestože byly offline programy úspěšně implementovány, byly identifikovány oblasti, ve kterých by bylo možné proces tvorby offline programu optimalizovat.

Jednou z těchto možností je využití funkce zrcadlení programů „Mirror Operation“, která je součástí softwaru Process Simulate. Tato funkce umožňuje efektivně využít symetrie přípravků, kde by bylo možné vytvořit program pro jednoho robota a následně tento program zrcadlit na druhý robot (obr. 78). Tento přístup by vedl ke zkrácení času potřebného pro tvorbu a implementaci programů pro oba roboty, což by zjednodušilo celý proces programování.



Obrázek 78: Využití funkce „Mirror Operation“

Další optimalizace se týká změny konfigurace mezi jednotlivými body. Původně bylo nutné vytvářet manuálně pohybové body, které by umožnily robotu přetočit osy a dostat se do požadované konfigurace. V prostředí Process Simulate je však k dispozici funkce „Interpolate Location Orientation“, která automaticky generuje pohybové body pro plynulou změnu orientace (obr. 79). Tato funkce výrazně zjednodušuje celý proces, protože eliminuje nutnost ručního přerozdělování změn orientace na jednotlivé kroky nebo použití lineárního pohybu.



Obrázek 79: Použití funkce „Interpolate Location Orientation“

9 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ

Tato kapitola poskytuje přehled výsledků dosažených během tvorby, implementace a testování vytvořených offline programů v rámci simulace robotické svařovací linky. Cílem práce bylo navrhnout simulaci robotických pohybů a procesů v prostředí Process Simulate. Následně vytvořené offline programy implementovat na reálnou linku a optimalizovat program na reálné prostředí linky.

9.1 Návržené offline programy

V úvodní fázi návrhu programů bylo nezbytné stanovit optimální pořadí svařovacích bodů tak, aby nedocházelo k deformaci dílu vlivem vnitřního pnutí nebo přetlačování jednotlivých svarů. Na základě geometrie přípravku bylo vytvořeno celkem deset samostatných svařovacích programů, které byly navrženy s důrazem na vzájemnou koordinaci robotů a eliminaci jejich možných kolizí v rámci sdíleného pracovního prostoru.

9.2 Kalibrace robotu a online tvorba potřebných programů

V rámci přípravných kroků před implementací offline programů byla provedena justáž robotu, proměření TCP svařovacích kleští a zaměření referenčních bází přípravků. V této fázi byly rovněž vytvořeny nezbytné obslužné programy, například pro frézování, výměnu a kontrolu elektrodových čepiček. Součástí této přípravy byla také tvorba programu určeného pro bezpečné a přesné uchycení svařovacích kleští.

9.3 Praktické ověření offline programů a návrh opatření proti chybnému upnutí svařovaného materiálu

Offline programy byly exportovány a úspěšně nasazeny do reálného provozu. Během testování byly zaznamenány mírné nepřesnosti v pozicích některých svařovacích bodů, jež vyžadovaly následnou úpravu. Příčiny těchto odchylek mohly souviset s deformacemi přípravků, nepřesnou montáží nebo chybným založením dílů a šablon. Na základě této analýzy byly navrženy opatření pro detekci nesprávného upnutí materiálu, včetně využití indukčních čidel či kamerového systému umístěného na robotu. Díky provedeným úpravám a optimalizaci offline programů se podařilo úspěšně realizovat svařování několika podlahových částí kabiny, čímž byla potvrzena funkčnost celého řešení v praxi.

ZÁVĚR

V této diplomové práci byly navrženy a implementovány offline programy pro robotické svařovací pracoviště s využitím softwarového nástroje Tecnomatix Process Simulate. Hlavním cílem bylo ověřit funkčnost vytvořených programů, minimalizovat riziko kolizí a optimalizovat trajektorie robotů. Práce se zabývá problematikou robotizace v oblasti průmyslového svařování, přičemž klade důraz na pokročilé metody simulace a jejich využití v reálných výrobních podmínkách.

V teoretické části bylo podrobně analyzováno historické pozadí robotiky, její vývoj od prvních mechanických strojů až po současné pokročilé aplikace. Byly prozkoumány různé konfigurace robotických manipulátorů, jako kartézská, antropomorfní nebo delta konfigurace, s důrazem na jejich specifické výhody a oblasti použití v různých průmyslových sektorech. Dále byla rozebrána problematika koncových efektorů, úchopných či technologických hlavic a jejich vliv na efektivitu robotických systémů. V oblasti programování robotů byla podrobně popsána metodika offline a online programování, včetně analýzy jejich výhod, nevýhod a aplikací v praxi. Teoretická část rovněž zahrnovala rozbor hlavních svařovacích procesů v robotice, jako je odporové bodové nebo laserové svařování, se zaměřením na jejich specifika. Na konec byla uvedena softwarová platforma Process Simulate od firmy Siemens, včetně její funkcionality a využití v kontextu plánování a programování výrobních procesů.

V úvodu praktické části byla nejprve popsána robotická svařovací linka, včetně jednotlivých komponent a jejich funkcí. Následně bylo uvedeno prostředí Process Simulate, kde byl podrobně popsán postup od konfigurace samotného robotu, včetně nastavení kontroléru a externích os, až po návrh offline programů. Součástí přípravy byly také kalibrační procedury, jakožto uvedení robotu do provozu a tvorba servisních programů, které byly realizovány online. Využití simulací a následné úpravy programů přímo v provozním prostředí potvrdily efektivnost integrace offline a online metod. Tato kombinace přístupů umožnila detailní analýzu a úpravy před nasazením do reálné výroby, čímž byla minimalizována rizika a chyby. Tato část práce ukázala, jak efektivně plánovat, programovat a optimalizovat výrobní procesy pomocí pokročilých simulačních nástrojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLAFTER, Richard D.; CHMIELEWSKI, Thomas A. a NEGIN, Michael, 1989. Robotic Engineering: An Integrated Approach. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall. ISBN 0134687523.
- [2] John J. CRAIG. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
- [3] Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. ROBOTY a robotizované výrobní technologie. VUT v Brně: Nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [4] Automata through the Renaissance, 2019. Online. Dostupné z: <https://thetadmuseum.co.uk/history-of-automata/automata-through-the-renaissance/>. [cit. 2024-11-12].
- [5] This Eighteenth-Century Robot Actually Used Breathing to Play the Flute, 2017. Online. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/eighteenth-century-robot-actually-used-breathing-play-flute-180962214/>. [cit. 2024-11-12].
- [6] 60,000 pieces, 240 years old. Jaquet-Droz's dolls still write, draw, and play music..., 2020. Online. Dostupné z: <https://www.stolenhistory.org/articles/60-000-pieces-240-years-old-jaquet-drozs-dolls-still-write-draw-and-play-music.272/>. [cit. 2024-11-12].
- [7] STEM Robotics. History of Robotics. Portland State University. [online]. Dostupné z: https://stemrobotics.cs.pdx.edu/sites/default/files/History_of_Robotics.pdf [cit. 2024-11-11].
- [8] ÚŘEDNÍČEK, Zdeněk, 2012. Robotika. Online. Zlín. ISBN 978 – 80 – 7454 – 223 - 7. [cit. 2024-11-12].
- [9] Unimate – The First Industrial Robot. Online. Dostupné z: <https://www.automate.org/robotics/engelberger/joseph-engelberger-unimate>. [cit. 2024-11-12].
- [10] KUKA Robotics History. Online. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/kuka-robotic-history.html>. [cit. 2024-11-12].
- [11] BARUA, Ranjit a DATTA, Sudipto. Modernization of Robotics Application in 21st Century: A Review. 2020. DOI: 10.46610/JMMDM.2020.v05i02.005. Dostupné z: <https://doi.org/10.46610/JMMDM.2020.v05i02.005>.

- [12] Ukrainian officials see ground robots as ‘game changer’ in war, 2024. Online. Dostupné z: <https://www.defensenews.com/global/europe/2024/03/14/ukrainian-officials-see-ground-robots-as-game-changer-in-war/>. [cit. 2024-11-12].
- [13] Ukraine’s new unmanned robot tested on front lines, 2023. Online. Dostupné z: <https://www.ukrainianworldcongress.org/ukraines-new-unmanned-robot-tested-on-front-line/>. [cit. 2024-11-12].
- [14] 7 Types of Industrial Robots: Advantages, Disadvantages, Applications, and More, 2024. Online. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/types-of-robots>. [cit. 2024-11-12].
- [15] HÄGELE, Martin, NILSSON, Klas a PIRES, J. Norberto. Industrial Robotics. 2007. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5_43.
- [16] What are End Effectors? Types of End Effectors in Robotics and Applications, 2024. Online. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/end-effector>. [cit. 2024-11-12].
- [17] Two-finger-gripper. Online. Dostupné z: <https://www.neobotix-robots.com/products/robot-gripper-1/two-finger-gripper>. [cit. 2024-11-12].
- [18] Magnetic gripping. Online. Dostupné z: <https://schunk.com/de/en/products/current-highlights/magnetic-gripping>. [cit. 2024-11-12].
- [19] KUKA. Lemování. Online. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/aplikace/ostatni-roboticke-aplikace/lemování-automatizace>. [cit. 2024-11-13].
- [20] Gluing Robots. Online. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/applications/gluing-robots.html>. [cit. 2024-11-13].
- [21] ABB Lands \$52 Million Robot Order From Ford Assembly Plant, 2015. Online. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/92945-abb-lands-52-million-robot-order-from-ford-assembly-plant>. [cit. 2024-11-19].
- [22] HAJDUK, Mikuláš, BALÁŽ, Vladimír a DANESHJO, Naquibullah. Simulácia a off-line programovanie priemyselných robotických systémov. AT&P journal. 2005, roč. 2, č. 2. Technická Univerzita Košice, Strojnícka fakulta, Katedra výrobnéj techniky a robotiky
- [23] WEMAN, Klas, 2003. Welding processes handbook. Cambridge: Woodhead Publishing. ISBN 0-8493-1773-8.

- [24] TANMOY, Das, 2022. Resistance Spot Welding: Principles and Its Applications. Online. ISBN 978-1-80355-385-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.103174>. [cit. 2024-11-19].
- [25] NIMAK. MultiframeGUN. Online. Dostupné z: <https://www.nimak.de/en/spotweldinggun/multiframegun/>. [cit. 2024-11-24].
- [26] *Spot welding guns*, 2001. Online. Dostupné z: https://www.robot-welding.com/spot_welding_gun.htm. [cit. 2024-11-24].
- [27] FESTO. *Drive solutions for welding guns*. Online. Dostupné z: https://www.festo.com/in/en/e/solutions/servo-pneumatic-and-electric-drive-solutions-for-welding-guns-id_639649/. [cit. 2024-11-24].
- [28] Spot welding and Applications of resistance welding process. Online. 2022. Dostupné z: <https://weldingpros.net/spot-welding/>. [cit. 2024-11-24].
- [29] Pires, J. Norberto, Loureiro, A., Godinho, T., Ferreira, P., & Morgado, J. (2003). Welding robots. *Robotics & Automation Magazine*, 10, 45–55. <https://doi.org/10.1109/MRA.2003.1213616>
- [30] MIG Welding Robots: Amplifying Your Factory's Output, 2022. Online. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/mig-welding-robots>. [cit. 2024-11-27].
- [31] Hong, T.S. & Ghobakhloo, Morteza & Khaksar, Weria. (2014). Robotic Welding Technology. *Comprehensive Materials Processing*. 6. 77-99. 10.1016/B978-0-08-096532-1.00604-X.
- [32] IGM. Applications for igm Robot Systems. Online. Dostupné z: <https://www.igm-group.com/en/applications>. [cit. 2024-11-27].
- [33] How do I correctly apply the welder settings?, 2020. Online. Dostupné z: blog.perfectwelding.fronius.com/en/welder-settings/. [cit. 2024-11-27].
- [34] FRONIUS. *TPS/i* Interface Signal Descriptions User information. Online. Dostupné z: <https://manuals.fronius.com/html/4204260227/en-US.html>. [cit. 2024-12-03].
- [35] *Laser*. Online. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Laser>. [cit. 2024-12-06].
- [36] 5 Great Laser Trackers to Improve Robot Accuracy, 2020. Online. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/laser-trackers-improve-robot-accuracy/>. [cit. 2024-12-06].

- [37] Laser welding Robots: The future of High-Speed manufacturing, 2022. Online. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/laser-welding-robots>. [cit. 2024-12-06].
- [38] Laser fundamentals: operation and beam characteristics. Online. Dostupné z: <https://www.meetoptics.com/academy/laser-fundamentals>. [cit. 2024-12-06].
- [39] Laserové svařování. Online. Dostupné z: <https://www.lasertherm.cz/technologie/svarovani-navarovani-kaleni-laserem/laserove-svarovani-kovu>. [cit. 2024-12-06].
- [40] SIEMENS. Tecnomatix: Digital Manufacturing Solutions Overview [online]. [cit. 8. 12.2024]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_cz/Images/4998_tcm841-3257.pdf
- [41] KUKA. *KR 300 R2700-2*. Online. Dostupné z: https://my.kuka.com/s/product/kr-300-r27002/01t1i000003ydDtAAI?language=en_US&tab=Overview. [cit. 2025-01-27].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Mechanický automat ve formě písáře [5]	16
Obrázek 2: Použití UNIMATE ve výrobní lince [9]	17
Obrázek 3: Pozemní bojový dron [13]	18
Obrázek 4: Kartézská konfigurace [8]	19
Obrázek 5: Antropomorfní konfigurace [8]	19
Obrázek 6: Konfigurace typu SCARA [8]	20
Obrázek 7: Cylindrická konfigurace [8]	20
Obrázek 8: Delta konfigurace [13]	21
Obrázek 9: Variace aktivních mechanických úchopných prvků [17]	22
Obrázek 10: Vlevo pasivní a vpravo aktivní magnetický úchopný efektor [18]	23
Obrázek 11: Lemovací lože s podtlakovými přísavkami [vlastní zdroj]	23
Obrázek 12: Svařovací kleště pro bodové svařování [vlastní zdroj]	24
Obrázek 13: Lemovací hlavice [vlastní zdroj]	24
Obrázek 14: Robot s lepící hlavici [21]	25
Obrázek 15: Robot se svařovacími kleštěmi a úchopnou hlavici [vlastní zdroj]	25
Obrázek 16: Simulační prostředí Process Simulate [vlastní zdroj]	26
Obrázek 17: Ovládací panel robotu Kuka uspořádaný „na výšku“ [vlastní zdroj]	27
Obrázek 18: Ovládací panel robotu FANUC uspořádaný „na výšku“ [vlastní zdroj]	27
Obrázek 19: Schéma odporového svařování [22]	28
Obrázek 21: Svařovací kleště typu C [25]	29
Obrázek 20: Svařovací kleště typu X [25]	29
Obrázek 22: Vlevo stacionární kleště, vpravo kleště umístěné na robotu [vlastní zdroj]	30
Obrázek 23: Svařovací cyklus bodového svařování [28]	31
Obrázek 24: Princip MIG/MAG svařování [22]	32
Obrázek 25: Robotická svařovací buňka od společnosti IGM. [vlastní zdroj]	33
Obrázek 26: Schéma částí laseru [37]	35
Obrázek 27 : Laserová svařovací hlava [36]	35
Obrázek 29: Kondukční svařování[39]	36
Obrázek 28: Hluboké svařování[39]	36
Obrázek 30: Pokrytí životního cyklu výrobku v rámci PLM platformy [40]	37
Obrázek 31 Layout svařovací linky	41
Obrázek 32: Svařovací stanice	42
Obrázek 33: Průmyslový robot KUKA KR 300 R2700-2	42
Obrázek 34: Odložené svařovací kleště v dokovací stanici	43

Obrázek 35: Fréza na úpravu a výměnu čepiček	44
Obrázek 36: Robot v referenční pozici	44
Obrázek 37: Fixační základna s přípravkem na paletovém vozíku	45
Obrázek 38: Diagram posloupnosti svařování	46
Obrázek 39: Úvodní okno Process Simulate	47
Obrázek 40: Informační okno o správnosti načtení dílčích částí studie	47
Obrázek 41: Rozhraní prostředí Process Simulate s označením oken: Okno 1 – Object Tree, Okno 2 – Operation Tree, Okno 3 – Path Editor, Okno 4 – Quick Access Toolbar.....	48
Obrázek 42: Path Editor.....	49
Obrázek 43: Defaultní rozložení Quick Access Toolbar.....	50
Obrázek 44: Rychlé menu.....	51
Obrázek 45: Nastavení kontroléru a strojních dat	51
Obrázek 46: Definice svařovacích kleští	52
Obrázek 47: Definice svařovacích kleští	52
Obrázek 48: Vytvořené TCP na svařovacích kleštích	53
Obrázek 49: Nastavení Tool and Base.....	53
Obrázek 50: Rozdělení svařovacích bodů	54
Obrázek 51: Svařovací body v Path Editoru.....	54
Obrázek 52: Návrh offline programu.....	55
Obrázek 53: Spot-index tabulka	55
Obrázek 54: Nastavení konfigurace robotu	56
Obrázek 55: Vykreslení překrytí obálek robotů	57
Obrázek 56: Část svařovacího programu.....	57
Obrázek 57: Umístění SEMD	58
Obrázek 58: Justážní sada.....	58
Obrázek 59: Pomocná sada „Dockihilfe“	59
Obrázek 60: Umístění obou částí sady	59
Obrázek 61: Výsledek proměření	60
Obrázek 62: Provedení 4bodové metody.....	60
Obrázek 63: RPS bod se souřadnicemi.....	61
Obrázek 64: Provedení nepřímé metody	61
Obrázek 65: Upevnění senzoru na svařovacích kleštích	62
Obrázek 66: Nastavení kalibrace na panelu robotu	62
Obrázek 67: Svařovací kleště ve frézovací pozici	63
Obrázek 68: Pozice nabrání čepiček	64

Obrázek 69: Referenční pozice	64
Obrázek 70: Definice dvojice kolizních objektů.....	65
Obrázek 71: Detekce kolize	65
Obrázek 72: Export programu.....	66
Obrázek 73: Náhled robotického programu pomocí „Robot Program Viewer“	66
Obrázek 75: Natáhnutí svazku kabelů o pátou osu robotu.....	67
Obrázek 74: Kolize vstupního pouzdra s ramenem robotu.....	67
Obrázek 76: Fixace dílů pomocí šablon a upínek	68
Obrázek 77: Návrh integrace kamery na rameno robotu pro vizuální kontrolu dokovací stanice.....	69
Obrázek 78: Využití funkce „Mirror Operation“	70
Obrázek 79: Použití funkce „Interpolate Location Orientation“	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Zařízení pracovišťě	41
Tabulka 2: Tabulka simulačních a naměřených hodnot	61

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R.U. R	Rossum's Universal Robots
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
KRL	KUKA Robot Language
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
PLM	Product Lifecycle Management
EMS	Enterprise Management Systém
MFG	Manufacturing features
RCS	Robot Controler Software
RRS	Realistic Robotic Simulation
TCP	Tool Centre Point
IBN	Installation, Bring-up & Commissioning
SEMD	Standard Electronic Mastering Device
MEMD	Micro Electronic Mastering Devic

SEZNAM PŘÍLOH

