



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## NÁVRH SVAŘOVACÍ BUŇKY

DESIGN OF WELDING CELL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Šuba

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Marek Šuba</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Vetiška, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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

## Návrh svařovací buňky

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena návrh robotické buňky, konstrukci potřebných přípravků a vytvoření simulace daného pracoviště pro svařování plechových dílů.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.

Návrh layoutu.

Konstrukce upínacích zařízení.

Vytvoření simulace.

### Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4

KOLÍBAL,Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-8-214-4828-5

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

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

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## ABSTRAKT

Předmětem této práce je návrh robotické svařovací buňky pro bodové odporové svařování plechových dílů. Základem práce je rešerše problematiky spjaté s průmyslovými roboty, svařovacími kleštěmi pro bodové odporové svařování, upínacími přípravky pro plechové díly, senzorikou a bezpečnostními prvky používanými v takovýchto buňkách. Druhou částí práce je samotný návrh konceptů řešení a následně výběr nejvhodnějšího z nich pro zadaný úkol. Po vyhodnocení nejlepšího konceptu následuje konstrukce upínacích zařízení pro jeho provedení, výběr vhodných svařovacích kleští, robotů a dalších potřebných prvků. V poslední části následuje simulace robotické svařovací buňky s pomocí softwaru RobotStudio od společnosti ABB, kontrola splnění zadaného výrobního taktu a zhodnocení výsledků bakalářské práce.

## ABSTRACT

The topic of this bachelor's thesis is the design of a robotic cell for spot resistance welding of sheet metal parts. The base of this thesis will be the research of industrial robots, spot welding guns, welding fixtures, robot grippers, sensors and safety precautions used in such robotic cells. Second part of the thesis contains few concepts regarding the robotic cell itself and the choice of the best one for the situation at hand. Third part of the thesis contains the choice of welding guns, construction of the welding fixtures and possibly even robot grippers for the given metal sheet parts. In the last part of the thesis comes the simulation of the welding process in RobotStudio (software from ABB), check whether the robotic cell meets the requested production time needed and a final assessment of the results.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Bodové odporové svařování, odporové svařování, automatizace výrobního procesu, bodové svařovací kleště, simulace, ABB RobotStudio, plechové díly, robotické pracoviště, robotická buňka

## KEYWORDS

Spot resistance welding, electric resistance welding, manufacturing process automation, spot welding gun, simulation, ABB RobotStudio, sheet metal part, robotic workplace, robotic cell



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠUBA, Marek. *Návrh svařovací buňky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. 5. 2019

.....

Marek Šuba



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D., a svým kolegům ze společnosti Chropyněská strojírna, a.s. za cenné rady a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce.



## Obsah

1	ÚVOD .....	15
1.1	Historie odporového svařování.....	15
1.2	Technologie bodového svařování.....	16
1.3	Schéma zařízení pro bodové svařování .....	17
2	MOTIVACE.....	18
3	REŠERŠE PROBLEMATIKY SVAŘOVACÍ BUŇKY .....	19
3.1	Robot.....	20
3.1.1	Průmyslový robot .....	20
3.1.2	Rozdělení průmyslových robotů do generací .....	21
3.1.3	Rozdělení průmyslových robotů podle kinematických dvojic řetězce .....	22
3.1.4	Průmyslový robot v oblasti bodového odporového svařování .....	22
3.1.5	Největší světoví výrobci průmyslových robotů.....	23
3.2	Bodové odporové svařovací kleště.....	23
3.2.1	Dělení bodových odporových svařovacích kleští.....	23
3.2.2	Čepičky elektrod bodových odporových svařovacích kleští .....	25
3.2.3	Broušení a výměna čepiček elektrod.....	26
3.3	Upínací přípravky pro svařování plechů .....	27
3.3.1	Stacionární upínací přípravky.....	28
3.3.2	Mobilní upínací přípravky.....	31
3.4	Bezpečnost.....	32
3.4.1	Oplocení .....	32
3.4.2	Zakládací prostor .....	32
3.4.3	Nouzové zastavení.....	32
3.4.4	Další nebezpečí.....	33
3.5	Řízení robotické buňky .....	33
3.6	Virtuální zprovoznění.....	33
3.6.1	ABB RobotStudio.....	34
4	KONCEPTY BUŇKY .....	35
4.1	Výběr svařovacích kleští .....	38
4.2	Výběr nejvhodnějšího řešení .....	39
4.3	Konstrukce upínacích přípravků.....	39
5	SIMULACE.....	40
5.1	Finální layout ve 2D .....	41
5.2	Vývojový diagram SW robotické buňky .....	42
5.3	Testování pomocí simulace v RobotStudios.....	43

6	ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....	44
7	ZÁVĚR .....	46
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	48
9	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ OBRÁZKŮ A TABULEK .....	51
9.1	Seznam obrázků .....	51
10	SEZNAM PŘÍLOH .....	53

## 1 ÚVOD

V dnešní době lze pomocí automatických svařovacích linek (viz Obr. 1) například rychle a efektivně vykonat podstatnou část úkonů potřebných pro složení, svaření a slepení celé automobilové karoserie. Se svařovacími buňkami se však také můžeme setkat i v jiných průmyslových odvětvích, přestože jejich zastoupení je nejvyšší právě ve výrobě automobilových karoserií. Při nemalé počáteční investici lze tímto způsobem snížit počet potřebného personálu, kterého je v dobách nízké nezaměstnanosti nedostatek a také snížit náklady na výrobu z dlouhodobého hlediska.

### 1.1 Historie odporového svařování

Svou práci bych rád zahájil menším pohledem do historie odporového svařování. Proto se nejdříve musíme vrátit do konce 19. století.

První patent na odporové svařování podal v roce 1885 americký vynálezce Elihu Thomson. V roce 1892 se také stal jedním ze zakladatelů společnosti General Electric a zapsal se do historie mnoha dalšími patenty týkající se technologie odporového svařování. Po jeho převratném vynálezu se odporové svařování začalo široce využívat v oblasti spojování tenkých plechů a drátů. Elihu Thomson lze být považován za tzv. otce technologie odporového svařování. [1]

K razantnímu vylepšení odporového svařování došlo v 50. letech minulého století vynálezem tyristoru, polovodičové součástky sloužící ke spínání proudu, která umožňuje vcelku jednoduchou regulaci energie dodané do svaru. [1]

První průmyslové roboty v šedesátých letech minulého století bohužel nedisponovaly dostatečnou přesností pro automatizaci odporového svařování, avšak jejich vývoj v sedmdesátých letech ji již umožňoval a začaly být široce používány v oblasti automobilového průmyslu ve formě bodového odporového svařování. [1]

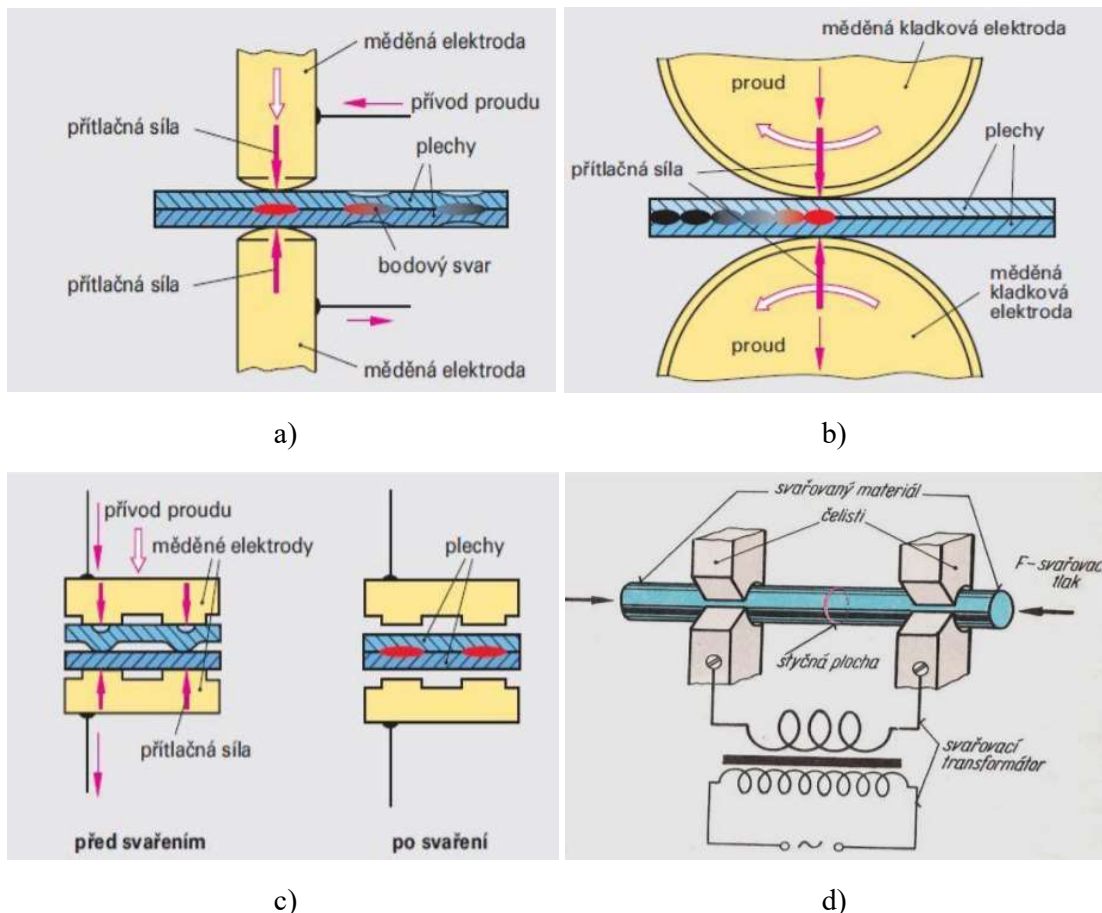
V dalších desetiletích docházelo dále též k nepřímému zlepšování technologie odporového svařování, zejména v oblastech automatizace, řízení, sensoriky, elektroniky, systémů měření a dalšímu vývoji v oblasti průmyslových robotů a robotických pracovišť. [1]



Obr. 1: Svařovací linka pro automobilové karoserie společnosti Chropyšská strojírna a.s. [5]

## 1.2 Technologie bodového svařování

Bodové odporové svařování je jeden z typů tlakového odporového svařování. Spojení součástí docílíme průchodem velkého elektrického proudu mezi dobře vodivými elektrodami (vyrobené převážně ze slitin mědi, ale vhodná volba záleží na svařovaném materiálu) skrze materiál s velkým elektrickým odporem. Průchod proudu a současné stlačení spojovaných součástí docílí ohřevu na svařovací teplotu a posléze dojde k lokálnímu svaření na jejich rozhraní. Svar má tvar tzv. svařových čoček a ke svaru na rozhraní plechů dochází díky tzv. přechodovému odporu. Jedná se o technologii bez přídavného materiálu, narozdíl od svařovacích metod MIG, MAG, nebo WIG. Tato výhoda činí odporové bodové svařování velice lákavé z hlediska automatizace výrobních procesů pomocí průmyslových robotů, protože se při její aplikaci nemusí řešit problematika přísunu přídavného materiálu do svaru. Tyto nesporné výhody zajistili bodovému svařování široké využití ve svařovnách karoserií mnoha světových automobilek. Jednou z mála nevýhod bodového svařování, je jeho omezení použití pro tenké plechové díly a tenké tyče a dráty. Mezi další technologie tlakového odporového svařování se řadí švové odporové svařování, výstupkové odporové svařování, či stykové odporové svařování. [2], [4]

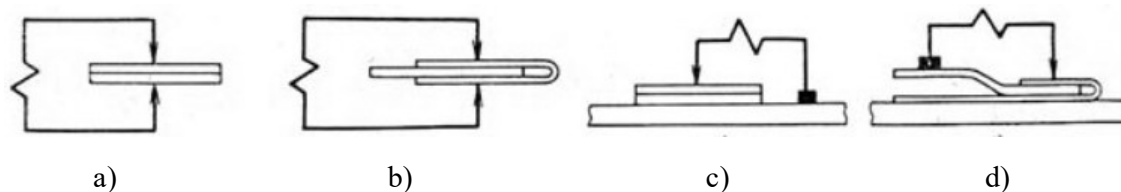


Obr. 2: Různé metody tlakového odporového svařování [3]

- a) bodové odporové svařování
- b) švové odporové svařování
- c) výstupkové odporové svařování
- d) stykové odporové svařování

Samotné bodové svařování se dělí na dvě hlavní skupiny [4]:

- 1) **přímé bodové svařování** – elektrody jsou umístěny z opačných stran svařovaných dílců
  - 2) **nepřímé bodové svařování** – elektrody jsou umístěny ze stejné strany svařovaných dílců
- tyto skupiny se dále rozvíjejí (viz Obr. 3)



Obr.3: Další dělení přímého a nepřímého bodového svařování [4]

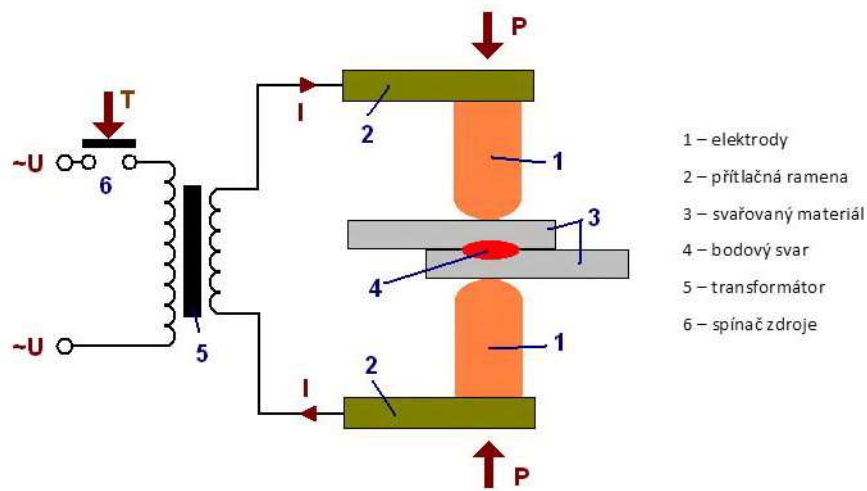
- a) přímé bez bočního proudu
- b) přímé s bočním proudem
- c) nepřímé bez bočního proudu
- d) nepřímé s bočním proudem

Svar vytvořený technologií bodového odporového svařování má velmi dobrou odolnost vůči usmyknutí ve směru ploch plechů ve srovnání s namáháním svaru ve směru kolmém na plochy plechů. [4]

Ke kontrole kvality bodových svarů lze použít destruktivních i nedestruktivních zkoušek. Nedestruktivní zkoušky se provádí pomocí speciálních ultrazvukových zařízení, jejich moderní vývoj umožňuje dosahovat podobné přesnosti výsledků jako u jejich destruktivních protějšků. [1]

### 1.3 Schéma zařízení pro bodové svařování

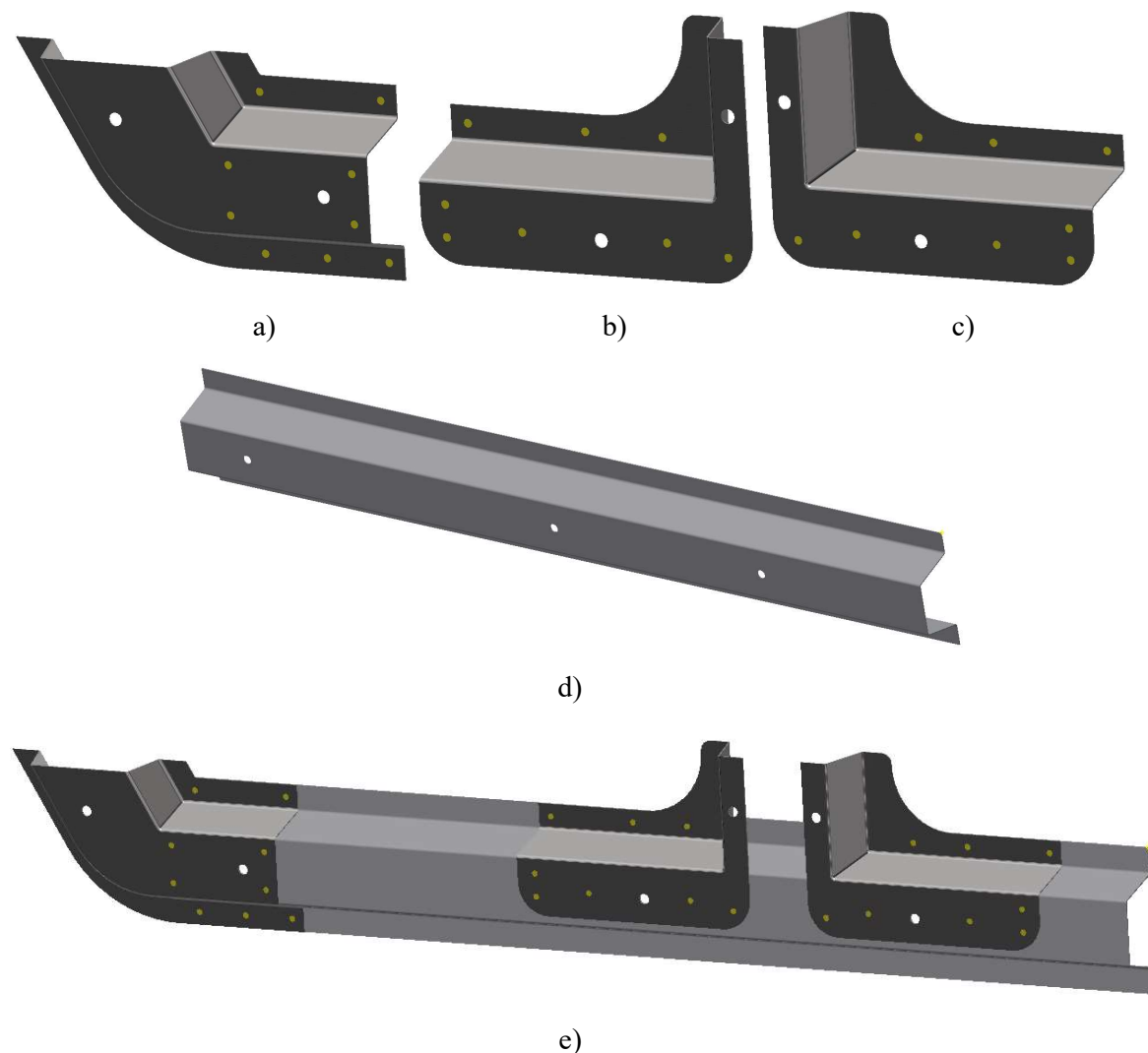
K bodovému odporovému svařování používáme svařovací bodové kleště. Pro dosažení potřebného elektrického proudu pro efektivní odporové svařování je nejprve nutné usměrnit síťové napětí na nízké napětí a vysoký proud. K tomuto úkonu slouží transformátor. Poté je elektrická energie vedena k elektrodám. Elektrody zajišťují přívod elektrické energie do místa svaru a zároveň mezi sebou stlačují spojované plechy k sobě. Ke stlačení elektrod používáme většinou pneumatický válec či lineární servomotor s pohybovým šroubem. [1]



Obr. 4: Schéma zařízení pro bodové odporové svařování [4]

## 2 MOTIVACE

Zákazníkem byl zadán požadavek na vytvoření robotické svařovací buňky pro bodové odporové svaření 4 plechových dílů (viz Obr. 5) s výrobním taktem 140 sekund. Tento výrobní takt již má v sobě zahrnutý přestávky pro obsluhu během pracovní doby a údržbu. Zákazník požaduje manuální založení dílů do upínacího přípravku a zároveň i jejich manuální odebrání operátorem po dokončení svařování. Zadané plechové díly o tloušťce 1,2 mm jsou vyrobeny z oceli a obsahují celkem 25 svařovaných bodů.



Obr. 5: Modely jednotlivých plechů a svařence (svařované body jsou vyznačeny žlutě)

- a) Plech A
- b) Plech B
- c) Plech C
- d) Plech D
- e) hotový svařenec

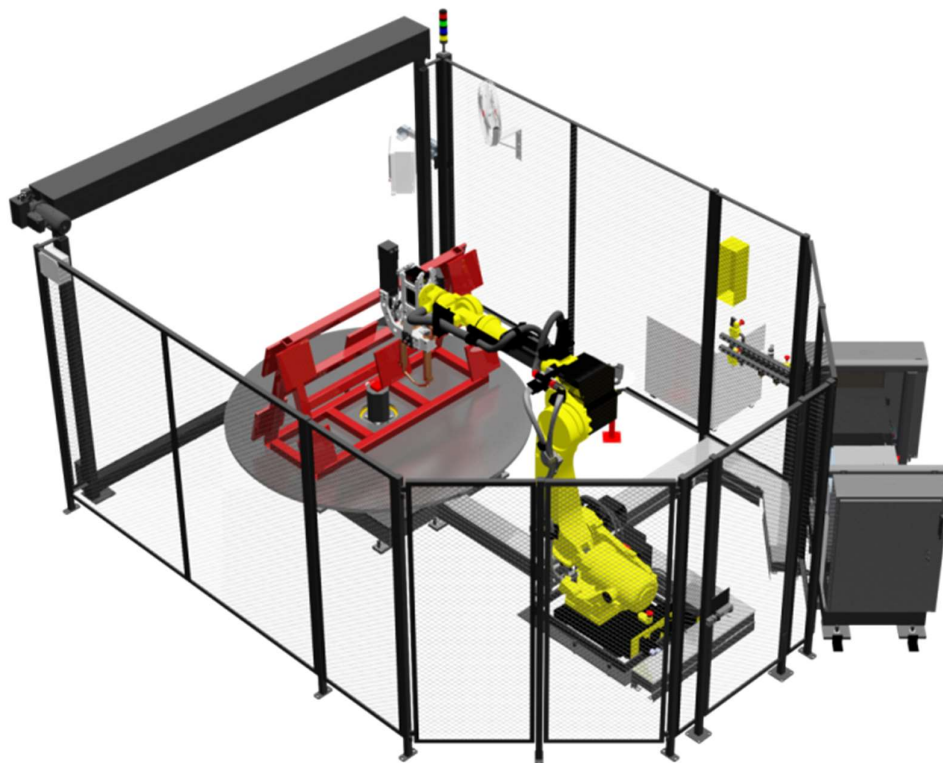
Plech A,B,C jsou bodově svařovány k plechu D celkově 25 body. Největší rozměr hotového svařence je 1174 mm a jeho celková hmotnost činí 3,5kg, což umožňuje poměrně snadnou manipulaci jak s jednotlivými díly, tak i se svařencem.

Zákazník nepožaduje řízení se vlastními standardy pro svařovací buňky, mezi které patří například standardy koncernu Volkswagen Group, nebo standardy koncernu Groupe PSA a dalších. Tyto standardy slouží pro snazší školení operátorů a pracovníků údržby těchto buněk. Pomocí těchto standardů si tyto koncerny určují výrobce průmyslových robotů, pneumatických zařízení, sensoriky, nebo také speciální požadavky na programování řídicích systémů či pojmenování jednotlivých průmyslových robotů a zařízení v layoutu.

### 3 REŠERŠE PROBLEMATIKY SVAŘOVACÍ BUŇKY

V případě svařovací buňky musíme automatizovat například bodové svařování, manipulace s materiálem, pohyb polohovacích zařízení, otevírání a zavírání upínacích přípravků, výměna efektorů robotu a jiné. Tento problém řešíme aplikací univerzálních či jednoúčelových zařízení a jejich kombinacemi. K této problematice je třeba přistupovat z mnoha pohledů jako například z hlediska ekonomického, splnění požadovaného výrobního taktu, prostorových možností, energetické spotřeby a dalších. Návratnost nemalých počátečních investic do těchto zařízení se pak projevuje snížením provozních nákladů, zlepšením bezpečnosti atd. [6]

V případech, kdy je možno nahradit člověka robotem, zejména když se jedná o monotónní činnost, činnost ve zdraví škodlivém a rizikovém prostředí, nebo práci fyzicky namáhavou se automatizace obzvlášť vyplatí. [6]



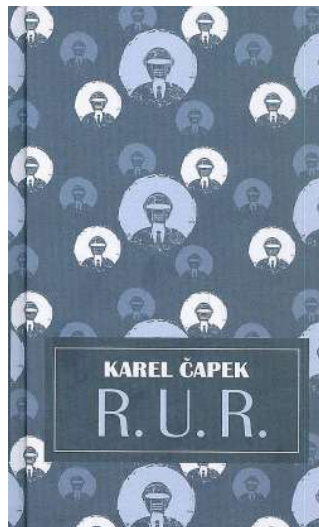
Obr. 6: Robotická buňka s polohovacím zařízením a svařovacím průmyslovým robotem [22]

Uvnitř této buňky (viz Obr. 6) je dále zařízení pro broušení čepiček elektrod. Jednotlivé kabely a hadice pro vedení stlačeného vzduchu nebo vody jsou vedeny po podlaze uvnitř buňky a chráněny kabelovým žlabem. Na vnější části buňky je vidět ovladač robotu, ovladač kleští, zdroj napětí a rozvody stlačeného vzduchu a vody. Aby nedošlo ke zranění obsluhy, je buňka oplocena a vybavena roletovými dveřmi na kterých se nachází ovládací panel.

V dalších podkapitolách je provedena rešerše jednotlivých zařízení, které se v těchto robotických svařovacích buňkách běžně nacházejí.

### 3.1 Robot

Slovo „robot“ je jedním z mála slov českého původu, jehož významu rozumí většina světové populace. Slovo robot poprvé použil český spisovatel Karel Čapek ve svém díle R.U.R. v roce 1921. Avšak to nebyl Karel Čapek, kdo vymyslel slovo robot, nýbrž to byl jeho mladší bratr, malíř a spisovatel, Josef Čapek. Ačkoli slovo robot v podání bratří Čapků znamenalo stroj schopný emocí, vlastního uvažování. Zkrátka se jednalo o uměle vytvořené lidi. Ve svém díle Karel Čapek rozebíral vymknutí této technologie z kontroly člověka. [7]



Obr. 7: obal knihy R.U.R, Karel Čapek, vydání 2018 [9]

Definice slova „robot“ podle normy ISO 8373 zní: „*automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.*“ [7]

#### 3.1.1 Průmyslový robot

Definice průmyslového robotu podle profesora P.N. Beljanine zní: „*Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnosti (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samo výuky, samo organizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.*“ [8]

Při výběru vhodného robotu je třeba brát zřetel na jeho nosnost, dosah, přesnost, rychlost, pracovní rozsah a také se řídit doporučeními výrobce. Výrobce průmyslového robotu například uvádí, zda je průmyslový robot vhodný pro použití v oblasti bodového odporového svařování, či je určen pro zcela odlišné odvětví průmyslu.

### 3.1.2 Rozdělení průmyslových robotů do generací

Průmyslové roboty můžeme dělit dle jejich úrovně inteligence do vývojově generačních skupin. Tyto skupiny se často mohou navzájem prolínat. To znamená, že jeden průmyslový robot může vykazovat vlastnosti více generací. Rozlišujeme těchto pět generací [6]:

- **Nultá generace**

Do této generace spadají průmyslové roboty bez zpětné vazby, což v případě poruchy v oblasti sledované senzory znamená nepovolení následujícího kroku operace a odpojení centrálního systému od přívodu energie doprovázeného signalizací pro přivolání údržby nebo seřizovače. [6]

- **První generace**

Roboty v této generaci disponují jednoduchou regresivní vazbou. Roboty této generace dovolují manuální přepínání mezi několika člověkem dodanými programy. [6]

- **Druhá generace**

Roboty v této generaci se velice podobají robotům první generace. Liší se svým automatickým vyhodnocováním nejvhodnějšího programu z předem člověkem nahraných možností. [6]

- **Třetí generace**

Do této generace řadíme roboty schopné vytváření samostatných programů. Při vytváření těchto programů čerpají ze zkušeností získaných při procesu řešení úloh. Předmětem úlohy je pouze zadání cíle činnosti, jelikož průběh řešení a konečný výsledek je odvozen od inteligence řídicího systému. [6]

- **Čtvrtá generace**

Do čtvrté generace řadíme samostatné roboty schopné společenského chování. Svým chováním připomínají člověka, protože jsou schopni si zcela nezávisle vybírat cíl pracovního úkonu. [6]

Vzhledem k současné situaci ve strojním průmyslu se v drtivé většině případů používá pouze nultá a první generace průmyslových robotů. Dominance nulté a první generace je dána častým použitím průmyslových robotů v sériové výrobě a jejich poměrně nízkými náklady v porovnání s vyššími generacemi. Sériová výroba pro průmyslový robot většinou znamená konání stejné série úkonů pořád dokola a pro takové určení je inteligence těchto generací zcela dostačující. [6]

Ve výjimečných případech najdeme užití pro druhou generaci i přes velký rozdíl nákladů mezi druhou generací a generacemi nižšími. Cena druhé generace totiž zahrnuje výrazně větší množství senzoriky než předchozí generace. [6]

### 3.1.3 Rozdělení průmyslových robotů podle kinematických dvojic řetězce

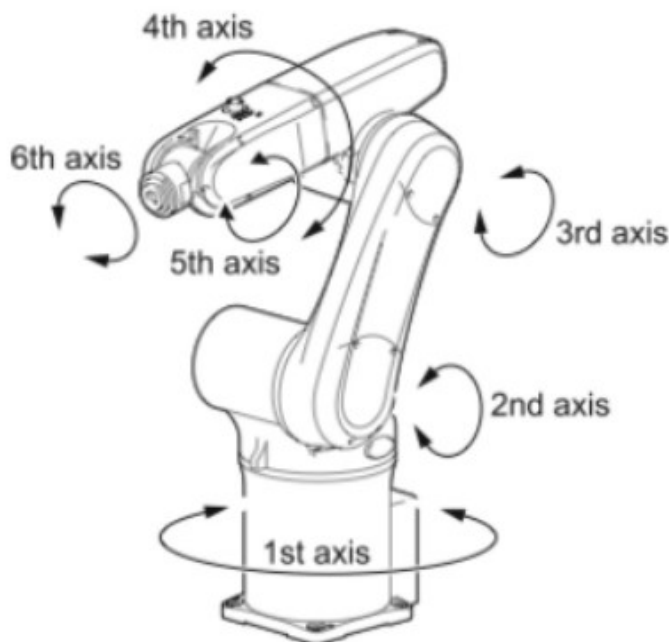
Dále můžeme průmyslové roboty rozdělovat podle kinematických dvojic řetězce, které je tvoří. Tyto dvojice typicky umožňují pohyb translační T, nebo pohyb rotační R. Kombinací kinematických dvojic lze sestavit všemožné typy pohybových řetězců v trojrozměrném pracovním prostoru. [6]

Rozlišujeme pár základních kinematických struktur tvořených třemi kinematickými dvojicemi. [6]

- Typ TTT
- Typ RTT
- Typ RRT
- Typ RRR

### 3.1.4 Průmyslový robot v oblasti bodového odporového svařování

Průmyslový robot v oblasti bodového odporového svařování má nejčastěji šest rotačních kinematických dvojic. Takovýto průmyslový robot se šesti stupni volnosti dokáže svůj koncový efektor (bodové svařovací kleště, či upínací přípravek pro svařované díly) dostat do jakéhokoliv bodu ve svém určitém pracovním rozsahu. Rotační pohyb v šesti osách dovoluje vysokou úroveň flexibility a široké možnosti repasování robotu z jedné svařovací linky po skončení výroby do další. [1]



Obr. 8: Osy šestiosého průmyslového robotu [11]

Legenda k obrázku 11:

1st axis – první osa, 2nd axis – druhá osa, 3rd axis – třetí osa,  
 4th axis – čtvrtá osa, 5th axis – pátá osa, 6th axis – šestá osa

### 3.1.5 Největší světoví výrobci průmyslových robotů

Tento list největších deseti světových výrobců zobrazuje celkové množství dodaných průmyslových robotů za celou dobu existence firmy výrobce. [12]

1. Fanuc (mateřská společnost (dále jen m.s.) Fanuc Corporation) – 400 000 robotů
2. Yaskawa Motoman (m.s. Yaskawa Electric Corporation) – 360 000 robotů
3. ABB (m.s. ABB Group) – 300 000 robotů
4. Kawasaki (m.s. Kawasaki Heavy Industries) – 110 000 robotů
5. Nachi-Fujikoshi (m.s. Nachi-Fujikoshi Corporation) – 100 000 robotů
6. Denso Robotics (m.s. Denso Corporation) – 95 000 robotů
7. Kuka (m.s. Midea Group) – 80 000 robotů
8. Mitsubishi Robotics (m.s. Mitsubishi Electric Corporation) – 70 000 robotů
9. Epson Robots (m.s. Seiko Epson Corporation) – 55 000 robotů
10. Stäubli (m.s. Stäubli Holding) – 45 000 robotů

### 3.2 Bodové odporové svařovací kleště

Pro bodové odporové svařování používáme bodové odporové svařovací kleště. Mezi jejich základní části patří čelisti kleští, stacionární elektroda (vzhledem k tělu kleští se nepohybuje), mobilní elektroda, čepičky elektrod, transformátor (zdroj svařovacího proudu), tyristor, ovládání mobilní elektrody, ovladač bodových kleští a chlazení (převážně vodní) čepiček elektrod, které výrazně ovlivňuje kadenci kleští a životnost čepiček elektrod. Kleště bývají také vybaveny senzorikou, která předává řídicímu systému informace o otevření nebo přivření kleští abychom se vyhnuli kolizím kleští s ostatními prvky. [1]

Pro dosažení velkého svařovacího proudu je potřeba použít transformátor, který zvýší elektrický proud a sníží elektrické napětí. Svařovací proud se standardně pohybuje mezi 8-100 kA a napětí mezi 5-15 V. Z důvodu snížení ztrát při vedení velkého elektrického proudu na větší vzdálenosti se pro lepší využití elektrické energie transformátor montuje přímo jako součást svařovacích kleští, což zvyšuje jejich hmotnost. Kleště se liší nejen svařovacím proudem, který umí vyvinout, ale také silou sevření a typem chlazení čepiček elektrod od kterých se význačně odvíjí hmotnost kleští.[1][15]

- Výpočet tepla dodaného do svaru procházejícím proudem (Joule-Lenzův zákon [1])

$$Q = I^2 * R * t \quad (1)$$

Q...teplo [J]

I...elektrický proud [A]

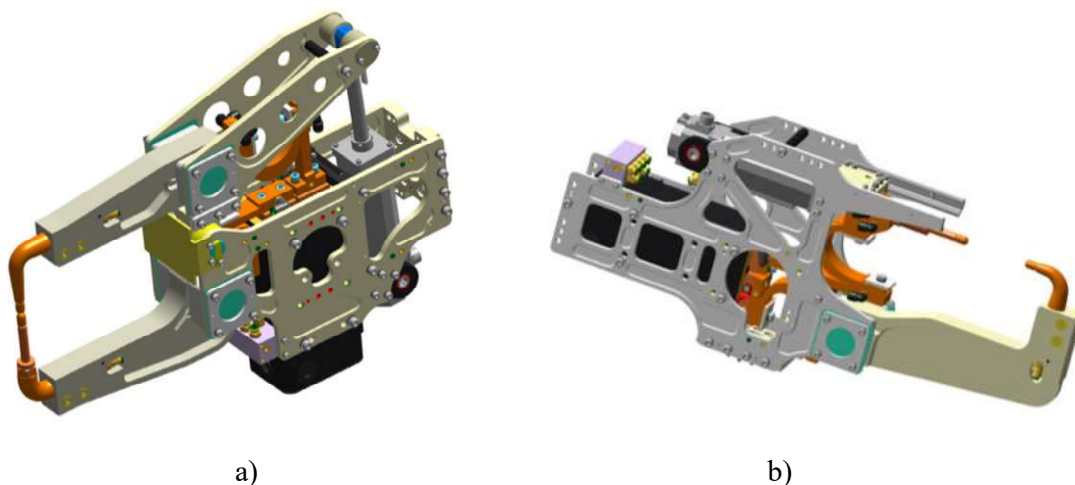
I...elektrický proud [A]

t...čas [s]

#### 3.2.1 Dělení bodových odporových svařovacích kleští

- Dělení podle ovládání:
  1. Pneumatické – mobilní elektroda je ovládaná pneumatickým válcem se dvěma nastavitelnými polohami (otevřená a přivřená), rychlost přivření je nižší než u servokleští. Rychlost přivření je ale hůře ovladatelná než u servokleští, což může vést k prudkým nárazům mobilní elektrody do plechu a rychlejšímu opotřebení čepičky elektrody. Hlavní výhodou této varianty je nízká cena. [1]
  2. Servokleště – mohou být servoelektrické nebo servopneumatické, podle použitého mechanismu. Umožňují lepší kontrolu rychlosti přivření a síly sevření. Nabízejí vyšší rychlost sevření a otevření. V dnešní době nahrazují pneumatické kleště v automatizovaných provozech a programují se jako sedmá osa robotu. [1]

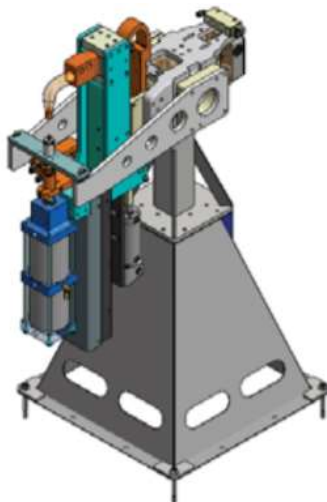
- Dělení podle konstrukce kleští:
  1. X kleště – Jejich hlavní výhodou je dobrý dosah v rovině kolmé k ose elektrod. Čelist mobilní elektrody je pohyblivá a kleště mají zejména v otevřeném stavu velké rozměry, což je činí více nebezpečnými při manipulaci. Jejich velké rozměry také negativně ovlivňují rychlost sevření a otevření. [1]
  2. C kleště – Jejich hlavní výhodou jsou malé rozměry, velké rychlosti otevření a sevření kleští a vyšší bezpečnost při manipulaci. [1]



Obr. 9: Dvě základní konstrukce bodových odporových svařovacích kleští od společnosti CenterLine\_Ltd (varianty na obrázcích jsou určeny pro připevnění na rameno robotu) [14]

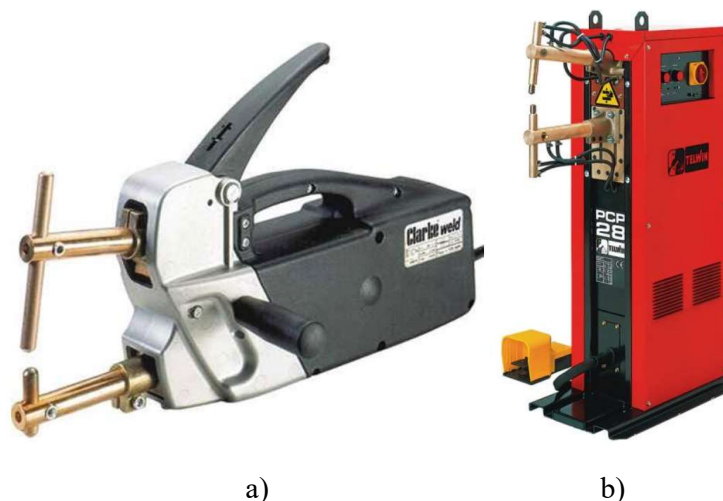
- a) X kleště
- b) C kleště

- Dělení podle upevnění kleští:
  1. Mobilní kleště – svařované díly jsou upevněny ve stacionárním svařovacím přípravku a robot, nebo operátor drží kleště a svařuje. [1]
  2. Stacionární kleště – kleště jsou umístěny pevně vzhledem k podlaze a svařovaný díl pohybuje do vhodné pozice pomocí robotu, nebo operátora. [1]



Obr. 10: Stacionární C kleště upevněny na podstavci PedTec společnosti CenterLine\_Ltd [13]

- Dělení podle stupně automatizace:
  1. Manuální – Tyto kleště jsou určeny pro manuální použití a obsluhu operátorem. Mohou mít podobu mobilních kleští, tak i stacionárních. Mobilní varianta může být celá manipulována operátorem v případě lehčích variant, ale těžší varianty musí být zavěšeny na balancéru pro usnadnění práce operátora. [1][15]
  2. Robotické – Kleště jsou upevněny na rameni robotu (mobilní), nebo obsluhovány robotem (stacionární). Případně je možná kombinace – jeden robot drží kleště, zatímco druhý robot drží plech v upínacím zařízení a první robot jej svařuje. [1]



Obr. 11: Bodové odporové svařovací kleště pro manuální použití [15]  
 a) mobilní (lehké bez potřeby balancéru, vzduchem chlazené – málo svarů za minutu)  
 b) stacionární (ovládané pedálem)

### 3.2.2 Čepičky elektrod bodových odporových svařovacích kleští

Mezi nepostradatelné příslušenství bodových kleští patří vyměnitelné čepičky elektrod. Právě tyto čepičky jsou v přímém kontaktu se svařovanými plechy a vlivem tepla a tlaku dochází k jejich opotřebení. Elektrody musí být vyrobeny z odolných materiálů schopných odolávat vysokému tlaku za vysokých teplot a přitom mít dobrou elektrickou vodivost. Především se vyrábí ze slitin mědi. [1], [16]

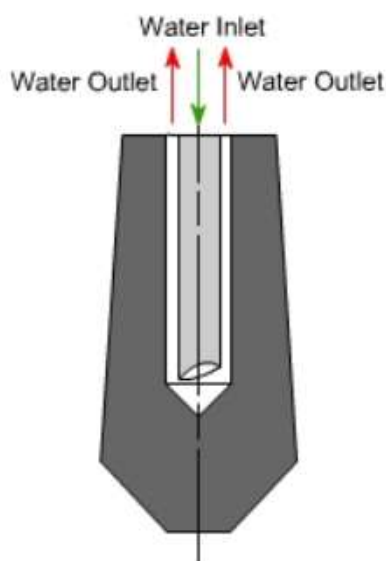
Materiály pro výrobu čepiček elektrod [17]:

- RWMA třída 1 (C15000, CuZr), menší odstřík materiálu při svařování (viz)
- RWMA třída 2 (C18150, CuCrZr), velice ekonomický materiál pro čepičky elektrod
- RWMA třída 20 (C15760, CuAl2O3), vyšší životnost a vhodné pro svařování široké škály ocelí
- A další...



Obr. 12: Různé tvary čepiček elektrod společnosti CenterLine\_Ltd [17]

K dosažení co nejvyšší kadence kleští (počet svařených bodů za jednotku času) je třeba tyto čepičky dobře chladit. Chlazením elektrod také výrazně zvýšíme jejich životnost. K těmto účelům používáme oběhové vodní chlazení. [16], [15]



Obr. 13: Schéma oběhového vodního chlazení čepičky elektrody [16]

Legenda k obrázku 16:

Water Inlet - přítok vody, Water Outlet – odtok vody

### 3.2.3 Broušení a výměna čepiček elektrod

Přestože jsme schopni chladit čepičky elektrod pro zvýšení jejich životnosti, je po jistém počtu svařených bodů nutné je přebrousit. K tomuto účelu lze používat automatické, nebo manuální zařízení pro broušení čepiček. Takové zařízení se anglicky nazývá „tip dresser“. S jeho použitím dokážeme čepičky elektrod několikrát přebrousit, než bude nutná jejich výměna. [19]



a)



b)

Obr. 14: Zařízení pro broušení čepiček elektrod „tip dresser“ [18]

a) automatické poháněné elektromotorem (nacházejí se v dosahu robotu se svařovacími kleštěmi, či na pohyblivém rameni u stacionárních svařovacích kleští)

b) manuální (na trhu se také objevují ruční s elektrickým pohonem)

Samotnou výměnu opotřebených čepiček elektrod v robotické svařovací buňce za nové lze řešit buď manuálně, nebo automaticky.

Manuálním způsobem myslíme zastavení robotické buňky, zamezení přívodu elektřiny, vody a stlačeného vzduchu do svařovacích kleští, požadavkem o vstup do buňky, vstupu obsluhy dovnitř prostoru s roboty a ruční výměnou čepiček elektrod u kleští. Takovýto způsob zahrnuje odstavení provozu buňky na nějaký čas, který se odvíjí od počtu svařovacích kleští v buňce, rozlehlosti buňky a dalších faktorů. Avšak i u obsáhlejších robotických buněk v automobilovém průmyslu je tento úkon otázkou 5-10 minut. [20]

Druhým způsobem je automatická výměna čepiček elektrod svařovacích kleští, která probíhá bez nutnosti zastavení provozu robotické svařovací buňky. K provedení této činnosti slouží speciální zařízení pro výměnu čepiček elektrod, anglicky zvané „tip changer“. Takové zařízení má omezenou kapacitu svého zásobníku, takže je nutné jej občas manuálně doplnit. Například kapacita zařízení na obrázku 18 je dostačující pro 13 výměn. [18], [20]



Obr. 15: Zařízení pro výměnu čepiček elektrod „tip changer“ [18]

Na trhu existují také automatická zařízení, která kombinují broušení čepiček elektrod i jejich výměnu a tím pádem šetří cenný prostor v robotických buňkách. [18]

### 3.3 Upínací přípravky pro svařování plechů

Upínací přípravky mají za úkol pevně a přesně uchopit plechové díly nebo svařence, zatímco probíhá jejich svařování pomocí bodových svařovacích kleští, nebo mohou sloužit jen pro účely manipulace. Tyto přípravky můžeme rozdělit podle jejich umístění ve svařovací robotické buňce na stacionární a mobilní, které jsou upevněny na rameno robotu. Upínacím přípravkům na ramenu robotu se anglicky říká „gripper“. [6], [21]

Při návrhu upínacích zařízení je v dnešní době nedocenitelná pomoc 3D CAD programů, jako je Autodesk Inventor, Catia, či SolidWorks. Tyto programy dovolují konstruktérům do určité míry navrhovat upínací přípravky tak, aby nedošlo ke kolizi se zvolenými bodovými svařovacími kleštěmi a aby se kleště dostaly do všech svařovaných bodů pro naplánovanou operaci. Úplná kontrola kolizí, simulace pohybů robotů a celého pracoviště se avšak musí provést v softwaru jako je ABB RobotStudio, RobCad, nebo Tecnomatix Process Simulate. [21]

### 3.3.1 Stacionární upínací přípravky

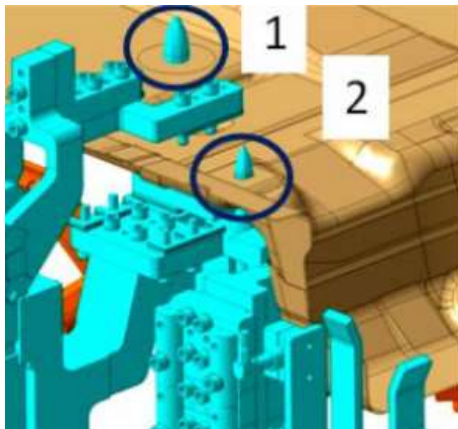
Stacionární upínací přípravky jsou nehybně upevněny vůči podlaze, nebo jsou umístěny na polohovacím zařízení s vysokou nosností (relativně vzhledem k nosnosti průmyslových robotů). V takovýchto přípravcích většinou dochází k prvnímu spojení dvou a více plechů bodovým odporovým svařováním. Stacionární upínací přípravky se používají pro první spojení plechových dílů. [21]

První spojení plechů je obzvlášť náročné na přesnost polohování jednotlivých plechových dílů vůči sobě. Právě proto by takové upínací zařízení mělo zaručit, aby byly plechy přesně umístěny a aby nedošlo k elastické deformaci plechů (například jejich vlastní tíhovou silou) a následnému svaření v deformované poloze. V takovém případě by se jednalo o výrobu nekvalitních svařenců. K tomuto účelu slouží množství podpěr, středících trnů, pneumatických upínek a senzorů. [21]

K přesnému umístění plechů do stacionárního upínacího zařízení je nutné plechy umístit tak, aby středící trny přípravku přesně zasedli do technologických děr v plechu určených právě k tomuto účelu. Každý plech musí být umístěn na dvojici středících trnů, aby se zamezilo otáčení kolem osy jednoho z nich a tím byla zaručena přesná poloha v rovině kolmé na osy středících trnů (pokud jsou osy trnů rovnoběžné). Středící trny se nejčastěji upevňují na pneumatický válec, který je před založením plechů do stacionárního upínacího zařízení vysune do funkční polohy (trny jsou zasunuty do technologických děr svařence) a pro snazší vyjmutí hotového svařence ze stacionárního upínacího zařízení je znovu zasune do nefunkční polohy (trny jsou mimo technologické díry svařence). [21]

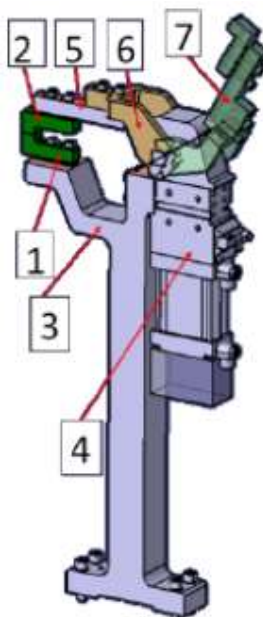


Obr. 16: Pneumatické zařízení sloužící pro pohyb vyrobených středících trnů [23]



Obr. 17: Dva středící trny zaručují polohu hnědého plechu skrze dvě technologické díry [21]

Jelikož máme plechy již vzájemně přesně umístěny, je potřeba je v přípravku upevnit pomocí podpěr a pneumatických upínek.



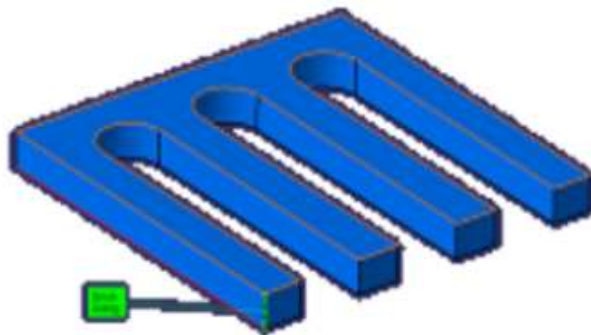
Obr. 18: Konstrukce pneumatické upínky [21]

Legenda k obrázku 15:

- 1 – nepohyblivý díl v přímém kontaktu s plechem (vyráběn)
- 2 – ekvivalent předchozího dílu, ale umístěn na pohyblivém rameni (vyráběn)
- 3 – základní podpěra upínky (vyráběna)
- 4 – pneumatické zařízení, které pohybuje pohyblivým ramenem (koupeno)
- 5 – nastavba pohyblivého ramena (vyráběna)
- 6 – pohyblivé rameno (dodáno s pneumatickým zařízením 4)
- 7 – celé pohyblivé rameno v otevřené poloze

Podpěra plechu se konstruuje obdobně, ale skládá se jen z částí 1 a 3.

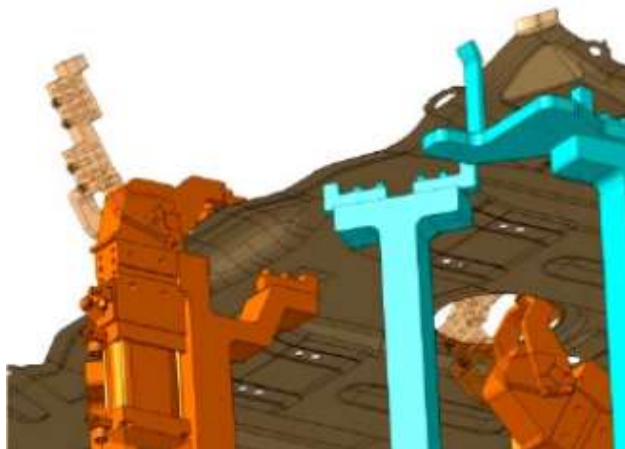
Díly upínek a podpěr, které jsou v přímém kontaktu s plechem se postupně opotřebují, proto se jedná o malé, snadno vyrobitelné díly. Jejich opotřebení nebo výrobní nepřesnosti lze také korigovat vložením distančních prvků například mezi část 1 a 3. Tyto prvky mají nejčastěji tvar hřebene (viz Obr. 19) pro snadné vsunutí do šroubových spojů. [21]



Obr. 19: Distanční prvek [21]

Výrobci pneumatických zařízení pro upínací přípravky:

- DESTACO
- GENUS Technologies
- TŮNKERS
- SMC
- BTM
- A další...



Obr. 20: Plech umístěný na modrých podpěrách a oranžových pneumatických upínkách [21]

Další nedílnou součástí upínacích přípravků jsou senzory přítomnosti jednotlivých plechových dílů. K tomuto účelu nejčastěji používáme indukční senzory kvůli tomu, že skvěle reagují na přítomnost kovů. Výrobci sensoriky také nabízejí řady sensorů určené pro všemožné účely, včetně odporových svařovacích provozů. Senzory pro použití do bodových odporových svařoven nesmí být ovlivněny magnetickým polem vzniklým průchodem elektrického proudu skrze plechové díly a musí mít velkou životnost a odolnost vůči nečistotám, či odstříku roztaveného materiálu. [21], [24]



Obr. 21: Indukční senzor produktové řady IMR od výrobce SICK [24]

Výrobci indukčních senzorů pro odporové svařovací provozy:

- SICK
- CONTRINEX
- TURCK
- EUCHNER
- A další...

Jak jsem již zmínil, tyto přípravky lze montovat na polohovací zařízení. Takové zařízení může zpravidla nést více upínacích přípravků a mít více poloh. Například když plechy v jednom přípravku jsou právě svařovány průmyslovým robotem, může operátor bezpečně vyjmout hotový svařenec a zakládat nové plechové díly do druhého přípravku. Tato polohovací zařízení se také liší počtem os, od kterých se odvíjí možnosti polohování upínacích přípravků. [21]



Obr. 22: Jednoosé polohovací zařízení pro dva upínací přípravky společnosti ABB (možno programovat jako externí osu robotu) [29]

Z předešlých odstavců vyplývá, že tyto stacionární upínací přípravky budou mít velkou hmotnost. A právě proto není vhodné tyto přípravky upevňovat na rameno robotu, protože by se s nutností nákupu robotu s vyšší nosností podstatně zvýšili pořizovací náklady a náklady na provoz robotu, nemluvě o zvětšení prostoru buňky jen pro umístění zmíněného robotu.

Pokud jsou již plechy svařeny s dostatečnou tuhostí ještě před založením do upínacího přípravku, stačí celý svařenec středit pouze pomocí dvou středících trnů (celý svařenec počítáme jako jeden plech). Díky tomuto dokážeme výrazně snížit hmotnost všech upínacích přípravků, zejména však mobilních upínacích přípravků pro roboty. [21]

### 3.3.2 Mobilní upínací přípravky

Při konstrukci mobilních upínacích přípravků upevněných na ramenu robotu musíme brát zřetel na jejich hmotnost, polohu těžiště a jednotlivé osové setrvačné momenty. Právě tyto charakteristiky ovlivňují vhodnou volbu robotu, jeho rychlost a spotřebu energie. [6]

Mobilní upínací přípravky se zejména využívají při stacionárním svařování, kdy robot drží plechové díly a stacionární bodové svařovací kleště je svařují. [1]

Tento způsob se využívá pro dodatečné bodové svařování již částečně svařeného svařence. Tento svařenec již musí mít dostatečnou tuhost díky již svařeným bodům (počet a výběr těchto bodů je nutné konzultovat se zákazníkem), protože tyto upínací přípravky nedisponují takovým množstvím podpěr a pneumatických upínek. Nedostatečná tuhost svařence by mohla vést k nekvalitní výrobě. [21]



Obr. 23: Upínací přípravek jako efektor robotu pro plechy od společnosti DESTACO [25]

### 3.4 Bezpečnost

Před zavedením buňky do provozu musí být splněna funkční bezpečnost. Ta se posuzuje podle příslušných norem.

Bezpečnost robotických buněk je velice obsáhlé téma hodno diplomové práce věnované čistě této problematice. Takže v této práci shrnu nejdůležitější prvky používané ke snížení či eliminaci rizika pro obsluhu robotických svařovacích buněk.

#### 3.4.1 Oplocení

Pohyby průmyslových robotů představují největší riziko pro personál, proto musíme zamezit přístupu personálu do prostoru s roboty, když je robotické pracoviště v provozu. K tomuto účelu slouží oplocení odolné vůči nárazu. Ve většině případů lze použít oplocení, které není plné, například drátěné panely. V místech, kdy je oplocení příliš blízko oblasti bodového svařování může dojít k odstříku roztaveného materiálu mimo buňku. Proto je v takových případech vhodné použít například plexisklové panely oplocení. [26] [1]

Oplocení bývá vybaveno servisními dveřmi pro vstup údržby do prostoru s roboty, například za účelem výměny čepiček elektrod u bodových svařovacích kleští. Tyto dveře jsou vybaveny senzory, které v případě otevření okamžitě buňku zastaví. Existuje mnoho variant zámků pro tyto dveře, ale vždy je nutná možnost okamžitého otevření dveří zevnitř buňky. Vedle dveří se obvykle nachází tlačítko pro žádost o vstup do buňky a tlačítko pro nouzové zastavení. [26]

#### 3.4.2 Zakládací prostor

Nebezpečí v zakládacím prostoru může vznikat pohybem pneumatických upínek, středících trnů, polohovacího zařízení, či samotného robotu. Těmto nebezpečím předcházíme sledováním přítomnosti operátora v tomto prostoru. [26]

Pro založení dílů do upínacího přípravku musí operátor při každém výrobním cyklu vstoupit do zakládacího prostoru, Tento prostor je oddělen od prostoru s roboty například samotným upínacím přípravkem, či polohovacím zařízením. Bývá vybaven například nášlapnou rohoží, nebo světelnou závorou (realizována optoelektronickými senzory), která pokrývá celý zakládací prostor v úrovni chodidel operátora. Pomocí tohoto řešení je prakticky nemožné robotickou buňku spustit, když je v zakládacím prostoru přítomen operátor. Také je možné ji ihned zastavit, pokud v době její činnosti operátor tyto senzory spustí. Zakládací prostor je oddělen od vnějšku buňky buď světelnou závorou, nebo automatickými vraty (například roletovými). Zvenku na těchto vratech bývá umístěn ovládací panel, ze kterého se celá robotická buňka spouští. [26]

#### 3.4.3 Nouzové zastavení

Realizujeme jej především pomocí tlačítek nouzového zastavení. Tato tlačítka mají červenou barvu a jsou umístěny na žlutém pozadí. Existuje více kategorií tlačítek nouzového zastavení, které se volí podle posouzení rizika. Tato tlačítka musí být lehce dosažitelná a jasně viditelná, například před ně nesmíme skládat palety, které by omezily jejich dostupnost. [26]

### 3.4.4 Další nebezpečí

Nebezpečí personálu nehrozí pouze ve formě poranění od pohybujících se částí robotické buňky, ale také ve formě úrazů elektrickým proudem, stlačeným vzduchem nebo vodou. Tato nebezpečí hrozí výhradně při údržbě a předcházíme jim uzavřením přívodů energií do robotické buňky při vstupu do robotické buňky za účelem údržby. [26]

Při bodovém odporovém svařování také vznikají nebezpečné výpary, které při vdechnutí mohou ohrozit dlouhodobý zdravotní stav obsluhy. Nebezpečnost těchto výparů závisí výhradně na materiálu svařovaných plechů a na materiálu použitých čepiček elektrod u bodových svařovacích kleštích. Oxidy zinku patří mezi nejnebezpečnější výpary u bodového svařování, které způsobují nemoc nazývanou „horečka z kovů (metal fume fever)“, která se vyskytuje především u svářečů po vdechnutí plynů s obsahem kovů. Prostor v okolí upínacích přípravků, ve kterých se plechy svařují, by měl být dobře odvětrán například pomocí digestoře zavěšené nad upínacím přípravkem. [21]

### 3.5 Řízení robotické buňky

Celou robotickou buňku můžeme řídit pomocí PLC (Programmable logic controller), nebo pomocí OEM (Original equipment manufacturer) ovladače. [27]

V poslední době nabízejí výrobci robotů možnost řídit menší robotické buňky přímo z ovladače robotu (OEM) pomocí programovacího jazyku výrobce. Nové ovladače robotů podporují funkci vyhodnocování input/output (neboli I/O). Tím pádem v případech, kdy není potřeba koordinovat velké množství robotů a zařízení, OEM ovladače zcela eliminují potřebu použití PLC. [27]

Neznamená to však, že PLC řízení zcela vymizí. PLC je vhodnější v případech koordinace velkého množství robotů a zařízení zejména kvůli množství ASCII dat, které je potřeba zpracovat. Navíc některé požadavky, či přímo standardy zákazníka (jako například standardy WV koncernu, nebo PSA koncernu) mohou bezpodmínečně vyžadovat použití PLC. [27]

### 3.6 Virtuální zprovoznění

Z důvodu zvýšení konkurenceschopnosti jsou dnešní společnosti nuceny ke snižování nákladů, maximalizaci produktivity a zrychlování výroby v omezeném prostoru. Takovéto zrychlení výroby není jednoduchý úkol a je třeba využívat složitých zařízení, které disponují vysokou flexibilitou. Z tohoto důvodu je v dnešní době kritické ověření funkčnosti konceptů a splnění výrobních taktů. Na tyto problémy nabízí řešení takzvané virtuální zprovoznění (virtual commissioning), nedílná součást Průmyslu 4.0. [28]

Mezi programy pro virtuální zprovoznění patří například Process Simulate, RobotStudio nebo RobCad. Pomocí těchto programů dokážeme importovat jednotlivé 3D modely prvků robotické buňky do 3D prostředí a následně zkontrolovat možné kolize robotů s jinými prvky, simulaci dynamiky jednotlivých robotů a logiku řídicího systému. Díky pokrokům v této oblasti dokážeme vytvořit a otestovat věrohodnou 3D repliku reálného pracoviště, ještě před jeho sestavením v reálném světě. [28]

Virtuální zprovoznění také umožňuje připravit si offline programování celého pracoviště a tím výrazně zkrátit dobu potřebnou pro zprovoznění robotického pracoviště po jeho sestavení v reálu (online programování). To znamená kratší čas zavedení do výroby, což je zejména v automobilovém průmyslu důležitým faktorem. [28]

### 3.6.1 ABB RobotStudio

V této práci využijeme pro simulaci robotické buňky software ABB RobotStudio, který je dostupný na fakultě FSI VUT v Brně. Pro účely práce byla také využita trialová verze, kterou společnost ABB nabízí na svých internetových stránkách se všemi prémiovými funkcemi na 30 dní zdarma. (<https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>).

ABB RobotStudio dokáže programovat pouze produkty značky ABB, ale je o mnoho levnější než program Process Simulate, který dokáže programovat průmyslové roboty kterékoliv značky s vhodnými nainstalovanými moduly. [28]

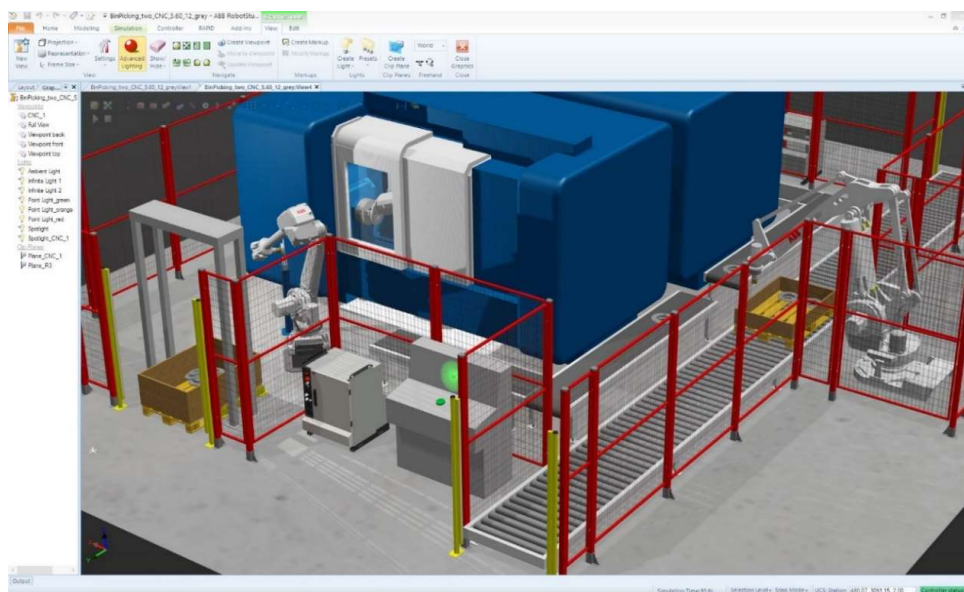
ABB RobotStudio využívá pro programování průmyslových robotů a polohovacích zařízení značky ABB programovací jazyk RAPID. Program v tomto programovacím jazyce můžeme psát ve formě textu pomocí záložky RAPID v RobotStudiosu, nebo pomocí interaktivního virtuálního 3D prostředí a pozdější synchronizací RAPID kódu do textové podoby. [30]

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.5, ABB používá ovladače robotů (IRC5), které dokáží fungovat podobně jako PLC. Při správném zapojení dokáže jeden ovladač robotu synchronizovat pohyby až 4 robotů. [31]

Právě offline programování pro tento ovladač jsme schopni provést v programu RobotStudio. Můžeme též měnit programování robotu ve výrobní hale z uživatelského rozhraní počítače v úplně jiné budově (samozřejmě se změna musí potvrdit přímo na robotickém ovladači pro vyšší bezpečnost).

Důležitou funkcí je vytváření signálů, zejména digitálních vstupů a digitálních výstupů řídicího systému. Tyto signály poté můžeme propojit s funkcemi Smart Component.

Logiku senzorů lze simulovat pomocí funkce Smart Component, ke které přiřadíme digitální vstupy a výstupy. Tyto senzory pak mohou po přijetí signálu od řídicího systému například zkontrolovat přítomnost plechového dílu ve virtuálním prostředí a svůj výstup odeslat zpět řídicímu systému, jako by se všechno dělo v reálném světě.

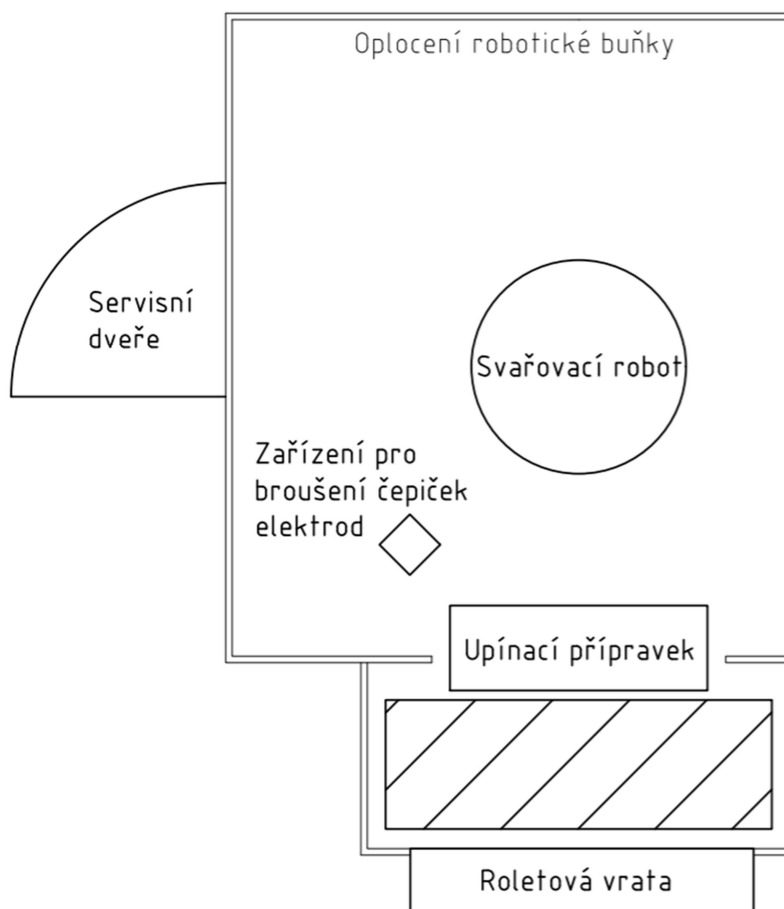


Obr. 24: Prostředí ABB RobotStudio [30]

RobotStudio také dovoluje simulaci dynamiky. Při vytváření nástroje pro průmyslový robot zadáváme jeho hmotnost, polohu těžiště, osové setrvačné momenty a souřadnice bodu TCP (tool center point). Pomocí těchto hodnot dokáže RobotStudio věrohodně simulovat jednotlivé pohyby skutečného průmyslového robotu, jejich rychlosti a zrychlení. Po napojení nástroje na robot jej můžeme učít cílové body, do kterých robot polohuje TCP bod svého nástroje a my volíme konfiguraci os robotu v jednotlivých cílových bodech. Pomocí těchto bodů můžeme vytvářet dráhy, které robot bude projíždět a měnit polohu externích os, mezi které patří například polohovací zařízení pro upínací přípravky. [30]

## 4 KONCEPTY BUŇKY

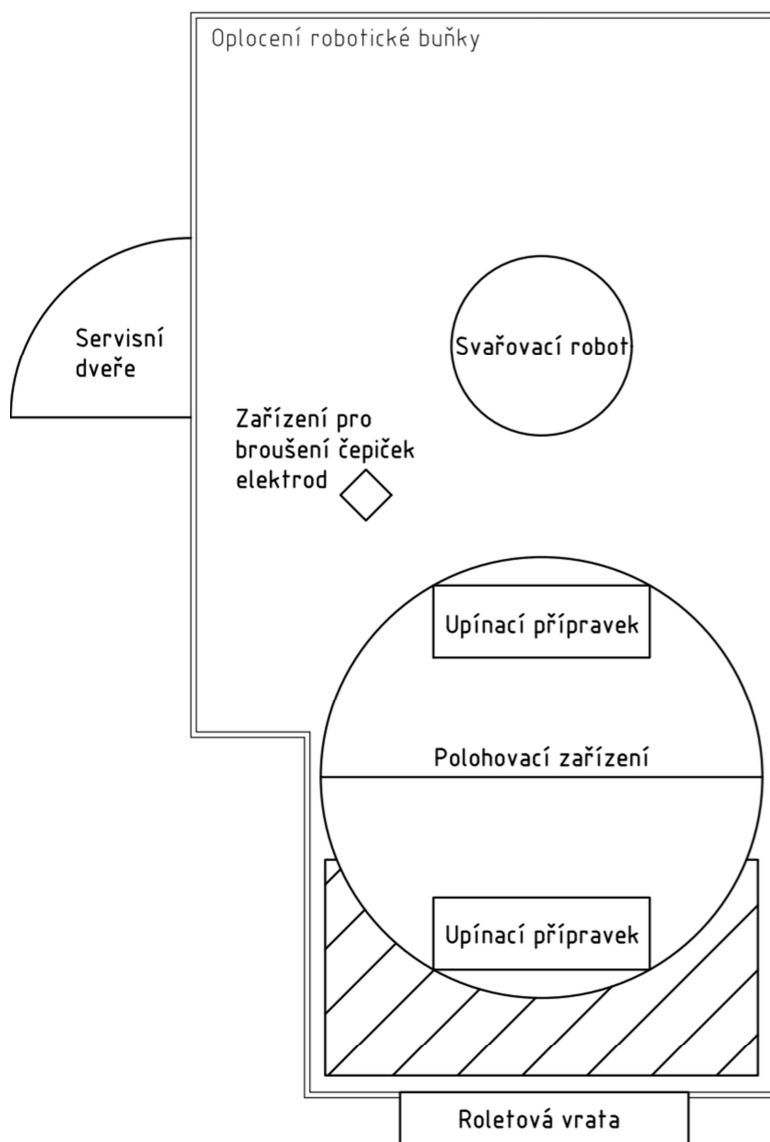
V této kapitole jsem navrhl tři koncepty robotické buňky pro zadaný úkol z kapitoly 2.



Obr. 25: Koncept buňky číslo 1 (zakládací prostor šrafovaný)

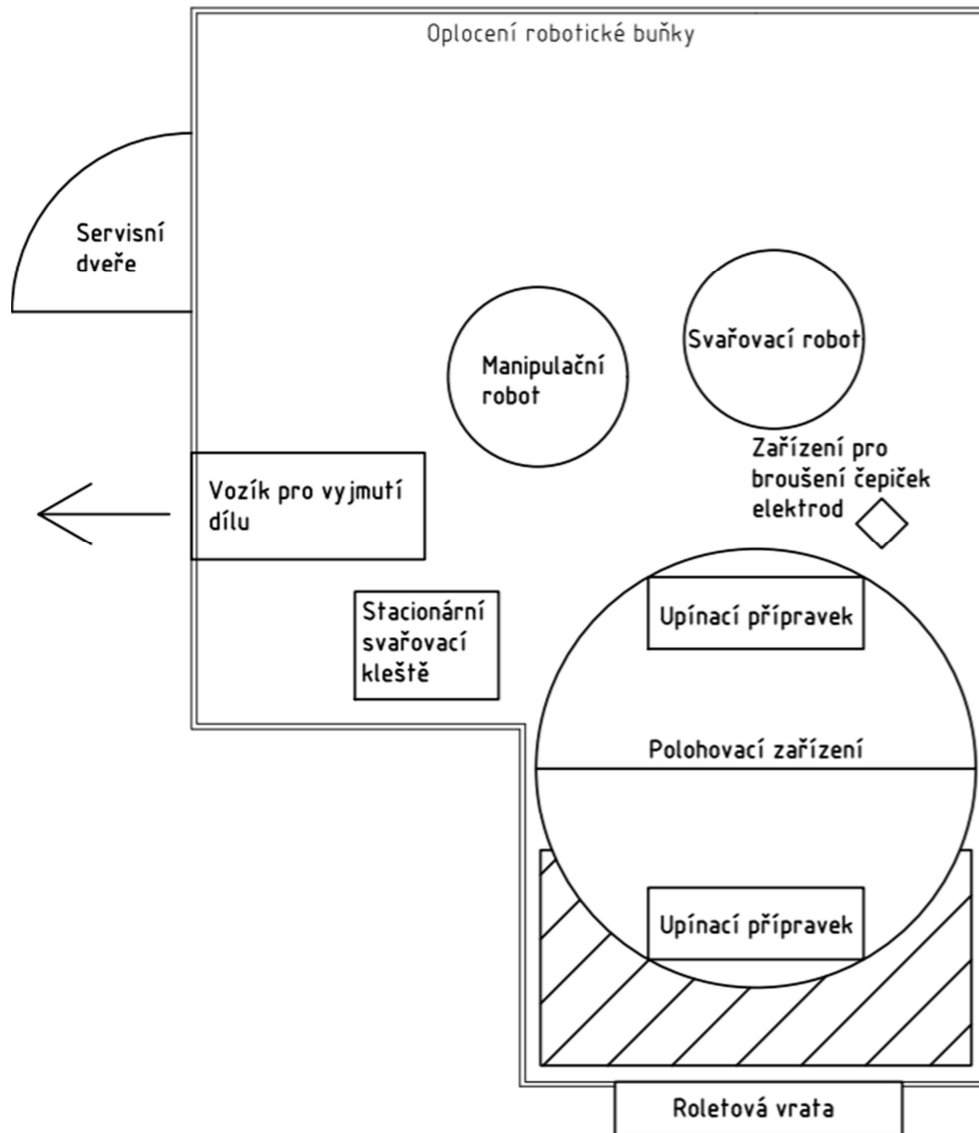
Operátor vejde do zakládacího prostoru (červeně šrafovaný) a založí díly do upínacího přípravku. Poté vyjde ven a spustí výrobní proces. Rolovací vrata se zavřou, plechy se pneumaticky zajistí v upínacím přípravku, robot svaří všechny svařované body, poté se upínací přípravek otevře a rolovací vrata též. Následně operátor vejde do zakládacího prostoru a vyjme hotový svařenec. Poté se celý proces opakuje.

Problém tohoto konceptu spočívá v nečinnosti robotu, zatímco operátor vykládá svařenec a zakládá nové plechy do upínacího přípravku. Tato varianta disponuje nejnižšími počátečními náklady a vyžaduje nejméně prostoru.



Obr. 26: Koncept buňky číslo 2 (zakládací prostor šrafovaný)

Tento koncept je modifikací konceptu číslo 1. Místo jednoho upínacího přípravku používáme dva upevněny na jednoosém polohovacím zařízení. Toto řešení dovoluje zrychlení výroby, protože robot může svařovat plechy v jednom přípravku, zatímco operátor vykládá svařenec a zakládá plechy znovu do druhého upínacího přípravku. Při použití tohoto konceptu bude robot více časově vytížen, což znamená lepší návratnost investic. Operátor bude zjevně také více časově vytížen. Jedná se o středně nákladnou a prostorově náročnou variantu.



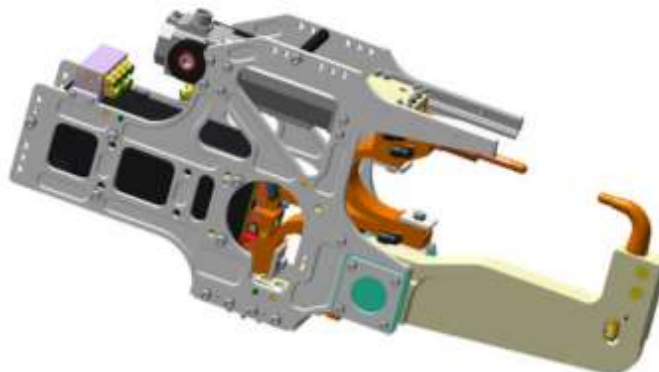
Obr. 27: Koncept buňky číslo 3 (zakládací prostor šrafovaný)

Jedná se o modifikaci konceptu číslo 2. Přidáním průmyslového robotu, který slouží k manipulaci se svařencem a svařování pomocí stacionárních bodových svařovacích kleští. To dovoluje svařit body na částečně dokončeném svařenci a tím zrychlit výrobní takt, protože se tyto body nemusí svařit již v upínacím přípravku polohovacího zařízení. Nově přidaný robot po svaření všech bodů odloží hotový svařenec do vozíku, se kterým lze manuálně vyjet mimo prostor buňky a plech vyjmout. Poté operátor vozík znovu zasune a proces se může opakovat. Tento koncept má nejvyšší počáteční náklady a požaduje nejvíce prostoru.

## 4.1 Výběr svařovacích kleští

Tvar a rozměry svařence a poloha svařovacích bodů na svařenci vybízejí k použití bodových svařovacích kleští typu C.

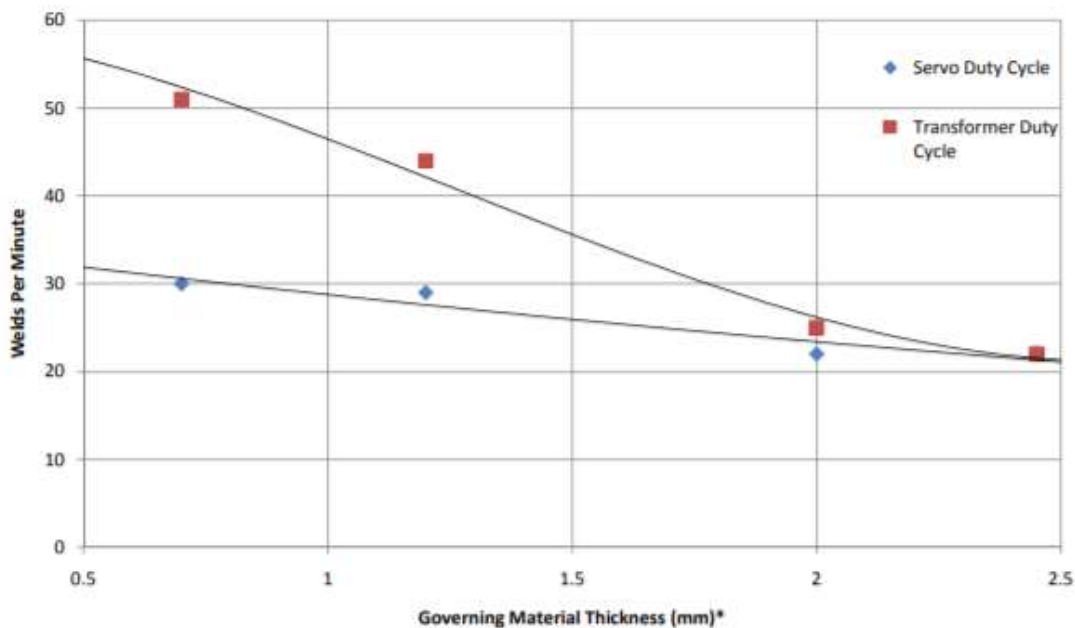
Volím kleště CenterLine FlexGun UL CUSCIN-420-71330 [14]



Obr. 28: Zvolené kleště [14]

- Hmotnost kleští je 62,6 kg
- vybaveny modelem transformátoru TDC-5583
- mobilní elektroda je poháněna pneumaticky

K broušení čepiček použijeme zařízení CDK-BAYO od společnosti KYOKUTOH. [18]



Obr. 29: Závislost počtu svařených bodů za minutu (vertikální osa) na tloušťce svařovaných plechů (horizontální osa) pro zvolené kleště [14]

Z této závislosti vyplývá, že ke svaření jednoho bodu budou zvolené bodové svařovací kleště potřebovat 2,8 sekundy. Pro všech 25 bodů to znamená, že 70 sekund z výrobního taktu bude čistě rezervováno pro pochody svařovacích kleští.

## 4.2 Výběr nejvhodnějšího řešení

Při výběru bodových svařovacích kleští v kapitole 4.1 je zjevné, že první koncept nebude plnit požadovaný takt zákazníka 140 sekund. Pouze svaření 25 bodů bude trvat 70 sekund nepočítaje pohyby robotu, pohyby upínek, pohyby roletových vrat a úkony operátora.

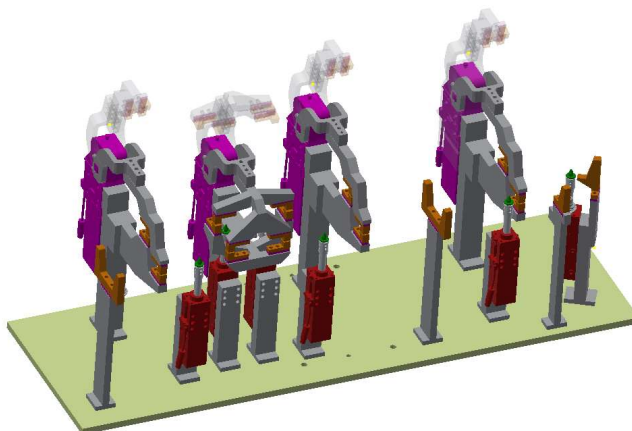
Proto volím koncept číslo 2, protože úkony operátora mohou probíhat zároveň se svařováním, což by mohlo stačit ke splnění požadovaného výrobního taktu. Je však nutno tento koncept ověřit v simulaci ABB RobotStudio.

Konceptu číslo 3 se budu věnovat v případě, že simulace prokáže nesplnění výrobního taktu konceptem číslo 2.

## 4.3 Konstrukce upínacích přípravků

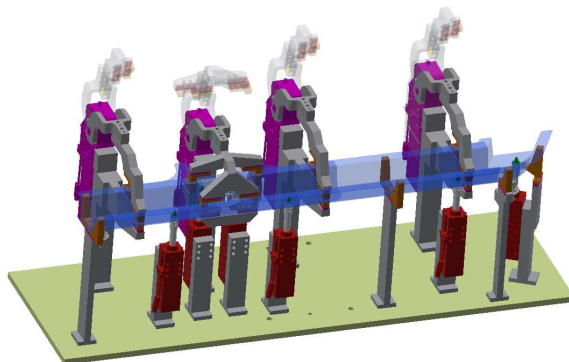
K provedení konceptu číslo 2 je třeba navrhnout dva identické upínací přípravky pro upevnění na polohovací zařízení. K tomuto úkolu jsem použil poznatky z kapitoly 3.3.

Výkres sestavy a 3D model je zahrnut v příloze.



Obr. 30: Upínací přípravek bez plechů

- 6 červeně vyznačených pneumatických zařízení DESTACO 86P30-105B8004 pro polohování středících trnů [23]
- 4 fialově vyznačené pneumatické upínky DESTACO TTC-2E030050K8, každá s U-Rameny 8UM504-45-144 [32]
- 4 indukční senzory pro přítomnost plechů SICK IMR18-15NPSTC0S



Obr. 31: Upínací přípravek se založenými plechy

## 5 SIMULACE

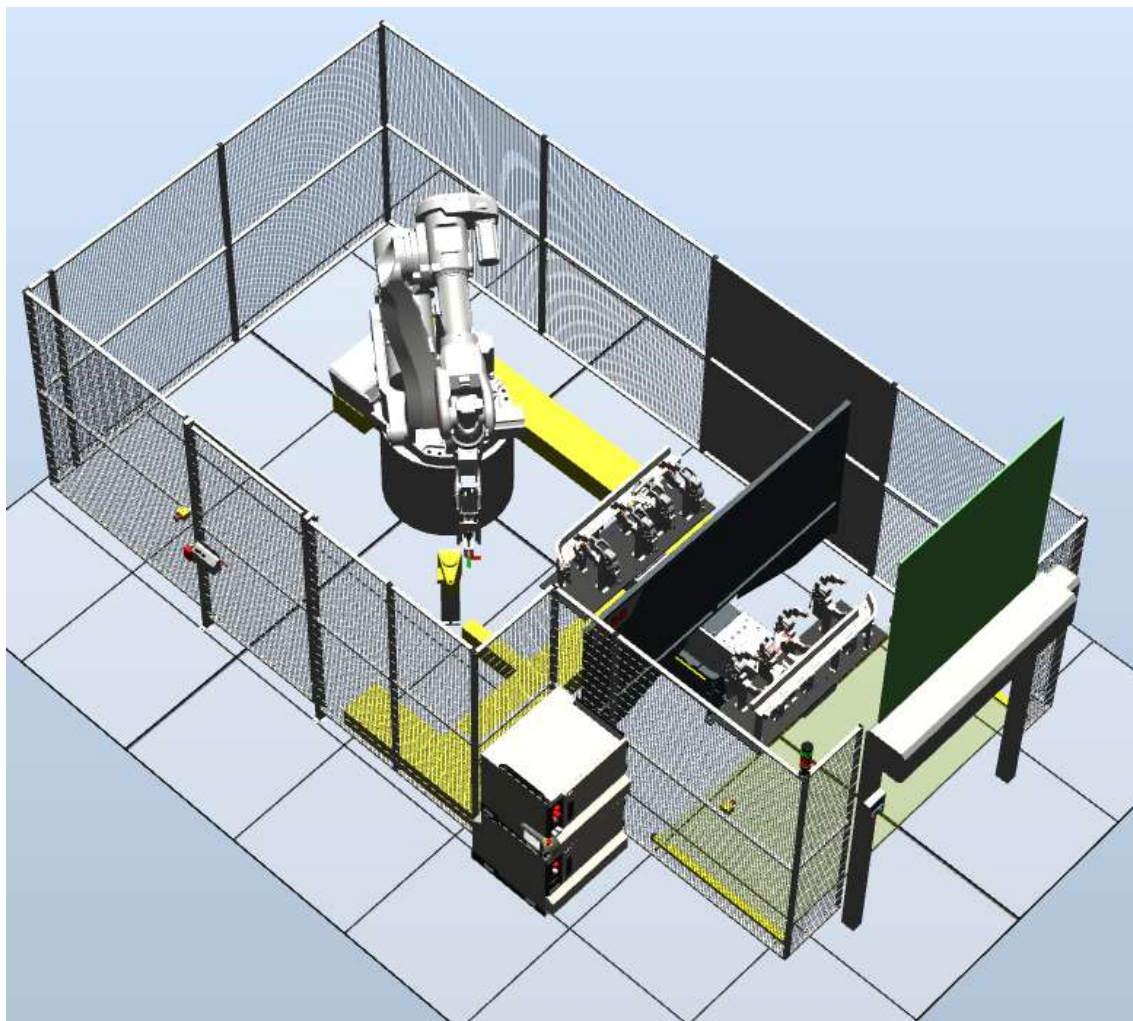
V programu ABB RobotStudio jsem sestavil konečný 3D layout podle konceptu číslo 2. Nejprve bylo nutné zvolit vhodného robota značky ABB z knihovny RobotStudia.

Zvolil jsem robot IRB 6650S 200/3.0. Tento robot disponuje dosahem 3 metry, nosností 200 kg a je přímo určen pro oblast bodového odporového svařování. Robot bude postaven na 750 mm vysokém podstavci.

Přestože zvolené bodové svařovací kleště mají hmotnost pouze 62,6 kg, výrobce robotů ABB nenabízí menší robot určený pro bodové odporové svařování.

Vedení kabeláže do robotických kleští je vyřešeno pomocí základního externího DressPacku od ABB, protože pohyb robotu v této buňce nevyžaduje velkou flexibilitu. [33]

Také bylo nutné zvolit polohovací zařízení pro upínací přípravky. Z knihovny ABB jsem zvolil jednoosé polohovací zařízení IRBP C-500 s nosností 500 kg, protože je pro náš zadaný problém adekvátní a s velkou rezervou unese oba upínací přípravky, každý vážící necelých 200 kg.



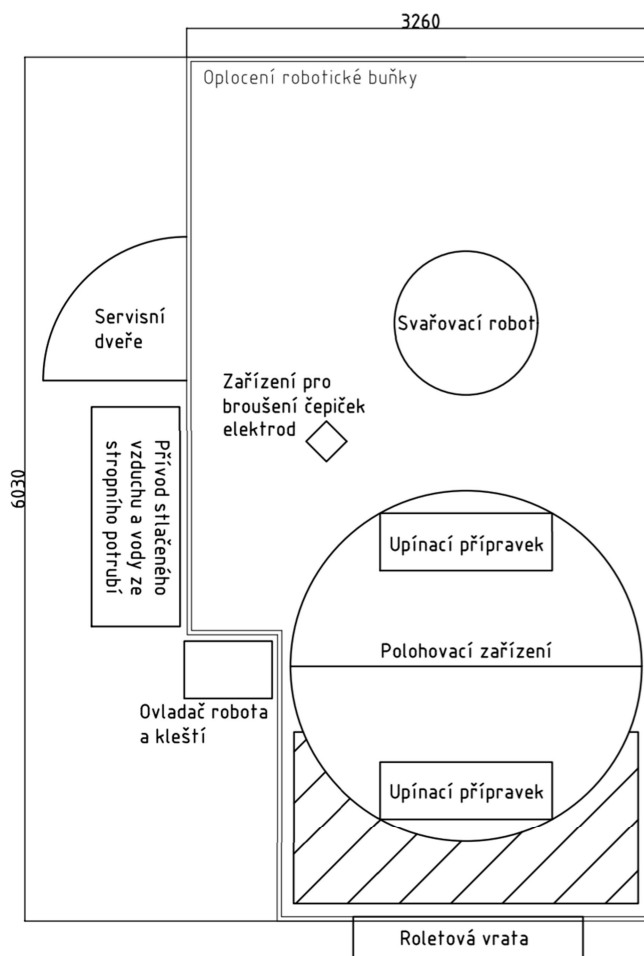
Obr. 32: Layout robotické buňky v programu RobotStudio

K řízení této buňky bude využit řídicí systém robotu IRC5, protože se jedná o buňku jen s jedním robotem. Ovládací panel pro spuštění robotické buňky je umístěn zvenčí buňky přímo u roletových vrat značky ASSA ABLOY. Zakládací prostor (na obrázku vpravo dole) je opatřen světelnou závorou v úrovni chodidel, která kontroluje přítomnost operátora. Dále je buňka vybavena několika tlačítky nouzového vypnutí. K signalizaci stavu buňky slouží semafor umístěný na oplocení zakládacího prostoru.

Buňka je oplocena ST30 panely firmy TROAX a jedna sekce oplocení je vybavena panelem TROAX ST PC (průhledný plný panel), který dovoluje sledovat proces svařování bez rizika poranění odstrikem materiálu. Oplocení má výšku 2200 mm. Použité servisní dveře značky TROAX jsou vybaveny zámek Safe Lock. V robotické buňce jsem též žlutě označil kabelové žlaby, které slouží k vedení a ochraně kabeláže a hadic po podlaze.

### 5.1 Finální layout ve 2D

Zde jsem vykreslil finální verzi půdorysu robotické buňky do 2D pomocí CAD softwaru. Tento náčrt je zobrazen bez kabelových žlabů a menších prvků pro lepší přehlednost.

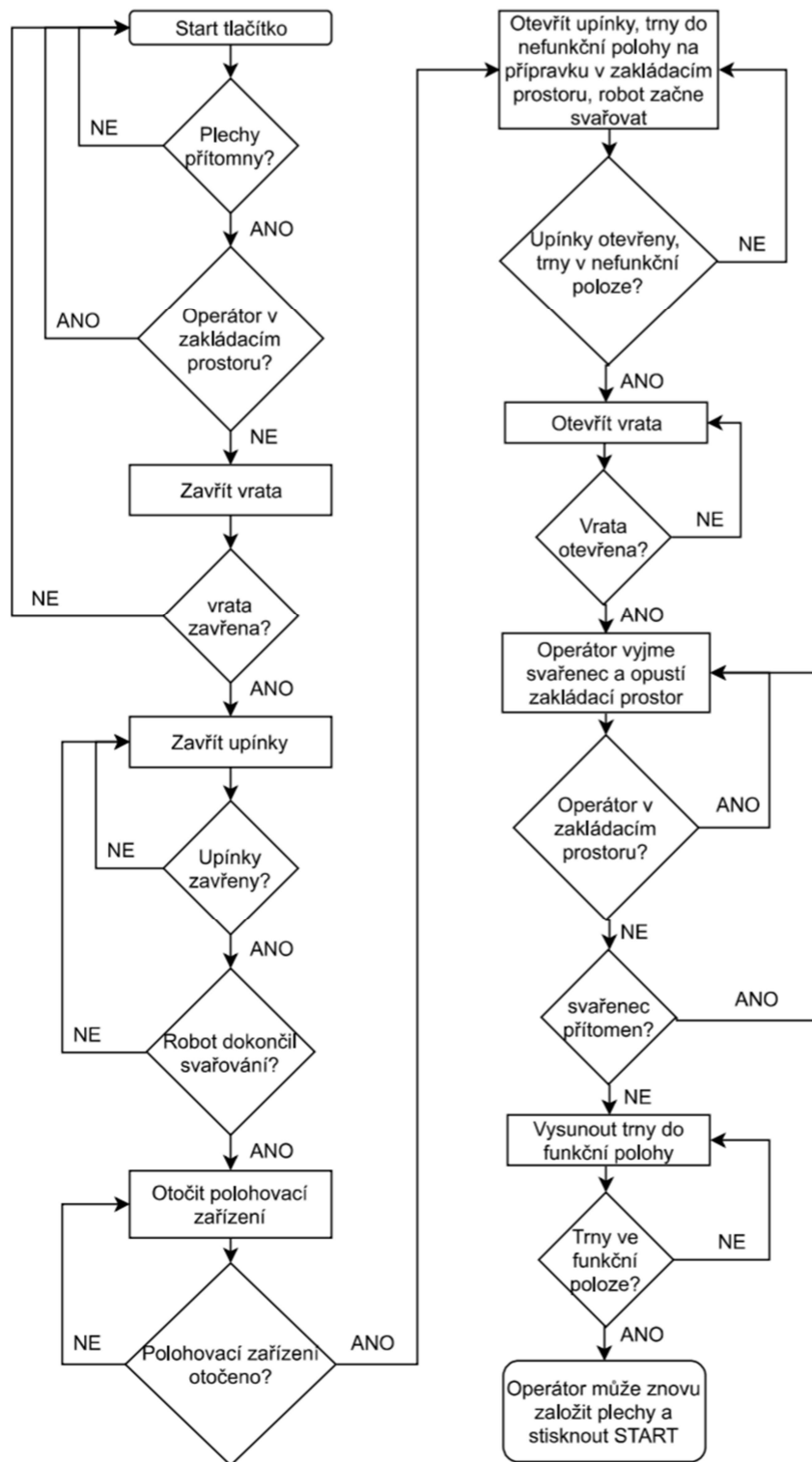


Obr. 33: Finální 2D layout (zakládací prostor šrafovaný)

Samotná buňka má tedy rozlohu necelých 20 metrů čtverečních nepočítaje palety s plechovými díly, které musí být umístěny v její blízkosti. Plochu buňky by šlo další optimalizací zajisté zmenšit za cenu větší restrikce pohybu údržby uvnitř buňky.

## 5.2 Vývojový diagram SW robotické buňky

Zde je vývojový diagram řídicích algoritmů navržené robotické buňky. Polohu nakupovaných zařízení (pneumatické zařízení, polohovací zařízení, a další...) lze kontrolovat pomocí zabudovaných senzorů.



Obr. 34: Vývojový diagram SW navržené buňky

### 5.3 Testování pomocí simulace v RobotStudios

V této kapitole jsem v RobotStudios za pomoci simulace zkontroloval schopnost zvoleného konceptu splnit požadovaný výrobní takt a výše zmíněného vývojového diagramu SW robotické buňky.

Nejprve bylo nutné vytvořit dráhu TCP bodu zvolených bodových svařovacích kleští, aby byla co nejkratší a bez kolizí. Dráhu jsem dále optimalizoval, aby pohyb kleští robotem vyžadoval co nejméně času.

K rozhýbání upínacích přípravků a svařovacích kleští v prostředí RobotStudios mi posloužila funkce mechanismu. Pomocí propojení se Smart Componenty lze pak tyto mechanismy přímo během simulace rozhýbat. Signál, který v simulaci pokyne k pohybu takového mechanismu, bychom v reálném světě například směřovali do ventilového bloku, aby otevřel ventil a pohnul s pneumatickým zařízením.

Poté jsem vytvořil všechny virtuální snímače, pomocí funkce Smart Component. Pro pneumatické prvky bylo potřeba vytvořit 2 virtuální snímače, jeden pro otevřenou polohu, druhý pro uzavřenou polohu. To z důvodu, abych napodobil chování snímačů dodávaných výrobcem těchto pneumatických zařízení. Například při uzavření upínky v simulaci RobotStudios senzor nahlásí řídicímu systému, že je tato upínka zavřena pomocí signálu, tak jako by bylo možné v reálu.

Po zhotovení veškerých Smart Component, bylo třeba vytvořit v řídicím systému signály (digitální vstupy a výstupy), které jsem poté provázal s digitálními vstupy a výstupy jednotlivých Smart Component.

Tyto signály řídicího systému jsem poté zakomponoval do dráhy robotu. Řídicí systém poté může s těmito signály pracovat přímo v simulaci a například automaticky vysílat pulz digitálního výstupu, aby bodové svařovací kleště provedli svaření bodu po najetí TCP bodu kleští do pozice. Poté řídicí systém čeká na signál (digitální vstup), od senzoru kleští, který potvrdí, že jsou kleště rozevřeny a robot může pokračovat k dalšímu bodu.

Takto jsem v simulaci RobotStudios prověřil výrobní takt a logiku vývojového diagramu z předchozí kapitoly. Výsledky simulace jsem shrnul v nadcházející kapitole.

## 6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Simulaci je možné si prohlédnout v příloženém videu. Zde stručně shrnu její výsledky.

Od stisknutí tlačítka START zvládne tato robotická buňka svařit všech 25 bodů za 118 sekund včetně přebroušení čepiček elektrod, což nechává rezervu minimálně 22 sekund oproti zákazníkům požadovanému výrobnímu taktu. Bez přebroušení elektrod dosahuje tato buňka ještě lepšího výrobního taktu 110 sekund.

Můžeme tedy ustanovit, že volba konceptu číslo 2 v kapitole 4 byla správná, protože v případě konceptu číslo 1, který disponoval menšími počátečními náklady by operátor skutečně neměl dostatek času na vyjmutí svařence a následné založení nových plechových dílů. Námí použitý koncept číslo 2 operátorovi dává dostatek času pro tyto úkony.

Stejně tak byl koncept číslo 3 pro tuto situaci špatný, protože měl nejvyšší počáteční náklady, přestože by dosahoval rychlejšího výrobního taktu. Zákazník si zatím ale nepřeje zrychlovat výrobní takt.

Pokud by si zákazník přál zrychlit výrobní takt, bylo by možné současné řešení modifikovat přidáním robotu s upínacím přípravkem jako svým efektozem a přidáním stacionárních bodových svařovacích kleští, podobně jako u konceptu číslo 3.

Takto modifikovaný koncept by pak dovoľoval eliminovat nutnost ručního vyjmutí svařenců z robotické buňky a otevřel by nové možnosti automatizace, protože by nově přidaný robot mohl hotové svařence například zavěšovat na automatický dopravník, který by je přepravoval do jiné robotické buňky pro další operace.



## 7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést rešerši problematiky robotických buněk pro bodové odporové svařování plechových dílů, navrhnout různé koncepty řešení problému zákazníka a vybrat nejvhodnější z nich. Poté bylo potřeba navrhnout a vytvořit 3D modely upínacích přípravků pro svaření zadaných plechů, které jsou potřeba pro provedení simulace a kontrole kolizí s roboty či bodovými svařovacími kleštěmi. Následovala kontrola splnění požadovaného výrobního taktu a možných kolizí pomocí simulace ve virtuálním prostředí programu ABB RobotStudio.

Obsahem rešerše bylo stručné shrnutí prvků a zařízení, se kterými se běžně můžeme setkat v podobných robotických buňkách. Mezi tyto prvky patří průmyslové roboty, bodové svařovací kleště a jejich příslušenství, metodiku navrhování upínacích přípravků pro plechové díly v této oblasti, a stručný popis často používaných bezpečnostních prvků, které snižují riziko újm na zdraví obsluhujícího personálu.

V další části (viz kapitola 4) následoval návrh tří různých konceptů robotické buňky pro svaření zadaných plechových dílů. Koncept první, který měl nejnižší počáteční náklady by zjevně nesplňoval požadovaný výrobní takt, proto jsem zvolil koncept druhý, u kterého jsem předpokládal splnění výrobního taktu. Pokud by ale simulace prokázala, že je i tento koncept nevhodný, použil bych koncept třetí.

Po výběru konceptu následovala konstrukce upínacích přípravků, ke které jsem využil znalostí získaných v rešeršní části práce. Ke správnému navržení upínacího přípravku bylo nejprve nutné zvolit si vhodné bodové svařovací kleště. Zvolil jsem kleště typu C od firmy CenterLine s hmotností 62,6 kg. Poté jsem navrhnul upínací přípravek, ve kterém lze vybranými bodovými svařovacími kleštěmi všechny zákazníkem zadané body svařit. Zvolený koncept robotické buňky potřebuje vyrobit a sestavit dva tyto identické upínací přípravky, kvůli jednoosému polohovacímu zařízení se dvěma pozicemi.

V poslední části následovalo sestavení celé robotické buňky ve virtuálním prostředí softwaru ABB RobotStudio a následná simulace výrobního procesu. Simulace jasně prokázala, že zvolený koncept číslo 2 splňuje požadovaný výrobní takt s jistou časovou rezervou. Simulace také umožnila stanovit polohu robotu vůči upínacímu přípravku, aby robot byl schopný projet celou trajektorii a natočit bodové svařovací kleště přesně do polohy jednotlivých svařovaných bodů.

V diskuzi jsem se zmínil o možnosti rozšíření této robotické buňky, například za účelem eliminace nutnosti vykládat hotové svařence ručně operátorem. Toto řešení by například zahrnovalo dopravník do možné vedlejší robotické buňky pro další operace s hotovým svařencem, tak jako se například děje v automobilovém průmyslu. Samozřejmě by tento proces zahrnoval i výrazné změny v řízení buňky. Tato problematika je ale nad rámec této bakalářské práce, ale bylo by neméně zajímavé se jí věnovat v případném dalším projektu.



## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BARTOŠEK, Petr. *Využití bodového svařování ve strojírenském průmyslu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Votava, Ph.D.
2. KOSINKA, Jakub. *Bodové odporové svařování*. Brno, 2016. 32s, 5 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.
3. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
4. *ROCKWELD-GROUP* [online]. Praha: ROCKWELD-GROUP, ©2013-2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.rockweld.cz/bodove-svarovani/>
5. *Chropyňská strojírna, a.s.* [online]. Chropyňe: Chropyňská strojírna, a.s. , ©2015-2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.chropynska.cz/24766-svarovaci-linky>
6. ADÁMEK, T. *Automatizace procesu zakládání dílu do svařovacího přípravku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 75 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
7. *Factoryautomation.cz: časopis o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. Praha: FANUC Czech, 2014, 2014 [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/kdo-vymyslel-slovo-robot-karel-capek-to-nebyl/>
8. KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-88922-27-5.
9. ČAPEK, Karel. *R.U.R.* V Praze: Fortuna Libri, 2018. ISBN 978-80-7546-163-6.
10. Kinematika. In: *Center for machine perception: Department of Cybernetics, Czech Technical University in Prague* [online]. Praha: ČVUT, 2004 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Roboty%20a%20pru%C5%BEEn%C3%A9%20v%C3%BDrobn%C3%AD%20syst%C3%A9my.pdf>
11. *blog.robotiq.com: časopis o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. Villeurbanne, Francie: Robotiq Europe, 2014, [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>
12. *roboticsandautomationnews.com: časopis o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. Londýn, Spojené království: Monsoon Media, 2018, [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <http://roboticsandautomationnews.com/2018/01/03/30-industrial-robot-manufacturers-to-watch-in-2018/15542/>

13. *CenterLine\_Ltd: PedTec Weld Gun Accessories Stand brochure ver. 2.1* [online]. Windsor, Kanada: CenterLine\_Ltd, 2015, [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: [https://www.cntrline.com/uploads/documents/PedTec\\_Weld\\_Gun\\_Accessories\\_Stand\\_Ver\\_2-1.pdf](https://www.cntrline.com/uploads/documents/PedTec_Weld_Gun_Accessories_Stand_Ver_2-1.pdf)
14. *CenterLine\_Ltd: FlexGun UL brochure ver. 1.3* [online]. Windsor, Kanada: CenterLine\_Ltd, 2015, [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.cntrline.com/uploads/documents/FlexGun%20UL%20Brochure%20WGP-FG-FUL-BR-PR-1.3-140618.pdf>
15. *SVARWEB.cz: bodovky a bodování* [online]. SVARWEB, 2008, [cit. 2019-04-30]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008033102>
16. Gupta. S.R. *welding lecture 11 and 12* [online]. Roorkee, Indian Institute of Technology Roorkee 2014 [cit. 2019-05-01]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://nptel.ac.in/courses/112107144/welding/lecture11&12.htm>
17. *CenterLine\_Ltd: Cap electrodes*[online]. Windsor, Kanada: CenterLine\_Ltd, 2015, [cit. 2019-05-01]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.cntrline.com/products/cap-electrodes>
18. *Kyokutoh.de: katalog*[online]. Mnichov, Německo: KYOKUTOH Europe GmbH, 2018, [cit. 2019-05-01]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <http://www.kyokutoh.de/products/auto-tip-dressers.html?sc=2>
19. *Geschmidt.com: tip dressers* [online]. Cincinnati, Ohio: G.E. Schmidt. Inc., 2018, [cit. 2019-05-01]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.geschmidt.com/tip-dressing/>
20. *Geschmidt.com: tip changers* [online]. Cincinnati, Ohio: G.E. Schmidt. Inc., 2018, [cit. 2019-05-01]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.geschmidt.com/tipchangers/>
21. Marko Krsulja, Mijic Sasa, Branimir Barisic, Zlatan Car. *Design and Planning of Clamping Work-holder Station for Sheet Metal Part of Car Body* [online]. Rijeka: Technical University of Rijeka, Chorvatská republika 2012 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/265044629\\_Design\\_and\\_Planning\\_of\\_Clamping\\_Work-holder\\_Station\\_for\\_Sheet\\_Metal\\_Part\\_of\\_Car\\_Body](https://www.researchgate.net/publication/265044629_Design_and_Planning_of_Clamping_Work-holder_Station_for_Sheet_Metal_Part_of_Car_Body)
22. *Easomautomation.com: resistance welding turntable cell* [online]. Detroit, Michigan: Easom Automation, 2017, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <http://www.easomautomation.com/solutions/resistancespotweldcells/turntable/>
23. *Destaco.com: 86P30-1 SERIES* [online]. Auburn Hills, Michigan: Dover Corporation. Inc., 2016, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://media.destaco.com/assetbank-destaco/assetfile/2868.pdf>

24. Sick.com: *indukční snímače* [online]. Praha: SICK spol. s r.o., 2019, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekni-snimace/indukcni-snimace/c/g190731>
25. Destaco.com: *end effectors* [online]. Auburn Hills, Michigan: Dover Corporation. Inc., 2016, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.destaco.com/end-effectors.html>
26. BALÁKOVÁ, M. Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
27. KAGAN PITTMAN: *OEM Proprietary Robot Controllers VS. PLC-Based Robot Controllers* [online], 2016, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13571/OEM-Proprietary-Robot-Controllers-VS-PLC-Based-Robot-Controllers.aspx>
28. BEDNÁŘ, M. Návrh experimentálního robotického pracoviště pro manipulační operace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.
29. Abb.com: *IRBP C* [online]. Curych, Švýcarsko: ABB Group, 2019, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners/irbp-c>
30. Abb.com: *RobotStudio* [online]. Curych, Švýcarsko: ABB Group, 2019, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
31. Abb.com: *IRC5 datasheet* [online]. Curych, Švýcarsko: ABB Group, 2018, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0295EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
32. Destaco.com: *82M and TCC series SERIES* [online]. Auburn Hills, Michigan: Dover Corporation. Inc., 2016, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://media.destaco.com/assetbank-destaco/assetfile/2845.pdf>
33. Abb.com: *DressPack* [online]. Curych, Švýcarsko: ABB Group, 2018, [cit. 2019-05-10]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/spot-welding-equipment/dresspack>

## 9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ OBRÁZKŮ A TABULEK

### 9.1 Seznam obrázků

- OBR. 1) Svařovací linka pro automobilové karoserie společnosti Chropynská strojírna a.s. [5]
- OBR. 2) Různé metody tlakového odporového svařování [3]
- OBR. 3) Další dělení přímého a nepřímého bodového svařování [4]
- OBR. 4) Schéma zařízení pro bodové odporové svařování [4]
- OBR. 5) Modely jednotlivých plechů a svařence (svařované body jsou vyznačeny červeně)
- OBR. 6) Robotická buňka s polohovacím zařízením a svařovacím průmyslovým robotem [22]
- OBR. 7) obal knihy R.U.R, Karel Čapek, vydání 2018 [9]
- OBR. 8) Osy šestiosého průmyslového robotu [11]
- OBR. 9) Dvě základní konstrukce bodových odporových svařovacích kleští od společnosti CenterLine\_Ltd (varianty na obrázcích jsou určeny pro připevnění na rameno robotu) [14]
- OBR. 10) Stacionární C kleště upevněny na podstavci PedTec společnosti CenterLine\_Ltd [13]
- OBR. 11) Bodové odporové svařovací kleště pro manuální použití [15]
- OBR. 12) Různé tvary čepiček elektrod společnosti CenterLine\_Ltd [17]
- OBR. 13) Schéma oběhového vodního chlazení čepičky elektrody [16]
- OBR. 14) Zařízení pro broušení čepiček elektrod „tip dresser“ [18]
- OBR. 15) Zařízení pro výměnu čepiček elektrod „tip changer“ [18]
- OBR. 16) Pneumatické zařízení sloužící pro pohyb vyrobených středících trnů [23]
- OBR. 17) Dva středící trny zaručují polohu hnědého plechu skrze dvě technologické díry [21]
- OBR. 18) Konstrukce pneumatické upínky [21]
- OBR. 19) Distanční prvek [21]
- OBR. 20) Plech umístěný na modrých podpěrách a oranžových pneumatických upínkách [21]
- OBR. 21) Indukční senzor produktové řady IMR od výrobce SICK [24]
- OBR. 22) Jednoosé polohovací zařízení pro dva upínací přípravky společnosti ABB [29]
- OBR. 23) Upínací přípravek jako efektor robotu pro plechy od společnosti DESTACO [25]
- OBR. 24) Prostředí ABB RobotStudio [30]
- OBR. 25) Koncept buňky číslo 1 (zakládací prostor šrafovaný)
- OBR. 26) Koncept buňky číslo 2 (zakládací prostor šrafovaný)
- OBR. 27) Koncept buňky číslo 3 (zakládací prostor šrafovaný)
- OBR. 28) Zvolené kleště [14]

OBR. 29) Závislost počtu svařených bodů za minutu (vertikální osa) na tloušťce svařovaných plechů (horizontální osa) pro zvolené kleště [14]

OBR. 30) Upínací přípravek bez plechů

OBR. 31) Upínací přípravek se založenými plechy

OBR. 32) Layout robotické buňky v programu RobotStudio

OBR. 33) Finální 2D layout (zakládací prostor šrafovaný)

OBR. 34) Vývojový diagram SW navržené buňky



## 10 SEZNAM PŘÍLOH

- 3D model upínacího zařízení s plechy ve formátu SAT
- Výkres sestavy upínacího přípravku ve formátu PDF
- Video simulace ve formátu MP4