



# 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

## AUTOMATIZACE PRACOVIŠTĚ BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ

SPOT WELDING WORKPLACE AUTOMATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Chlup

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2022



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Adam Chlup**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**  
Akademický rok: 2021/22

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:

## Automatizace pracoviště bodového svařování

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve výrobní oblasti bodového svařování se nachází 10 strojů určených k bodovému svařování profilových spon. Bodové svařování na těchto strojích probíhá formou manuální přípravy jednotlivých komponentů do svařovacího přípravku. Jakmile jsou komponenty aretovány na přípravek, operátor vkládá manuálně přípravek mezi elektrody sloupové bodovací svářečky a čeká na sváření prvního bodu, poté manuálně založí přípravek do nové polohy, aby stroj svařil další bod na profilech. Jakmile jsou svařeny všechny určené body, operátor manuálně uvolní profilovou sponu a odkládá ji k následné operaci dle příslušného postupu daného mj. i vývojovým diagramem. Z celkového času cyklu jsou tedy aktivity s přidanou hodnotou stroje omezené manuální činností operátora a stroj čeká na přípravné a dokončovací práce, zatímco při eliminaci činností s nepřidanou hodnotou by mohla být maximalizována využitelnost stroje. Zadání BP je vypracováno ve spolupráci se společností Norma Czech s. r. o. Hustopeče.

**Cíle bakalářské práce:**

Popis současného stavu poznání problematiky upínání svařenců, jejich manipulace a svařování.  
Rozbor problematiky a návrh poloautomatického svařovacího pracoviště, odstraňující stávající nevýhody vysokého podílu manuální práce během svařování součástek.  
Detailní popis nového svařovacího pracoviště, včetně pracovního cyklu na poloautomatickém (případně plně automatizovaném) pracovišti.  
Výpočty a měření na místě samém ve firmě dokázat, že došlo ke zvýšení produktivity měřené počty kusů na jednoho pracovníka (PPH) o žádoucích 20 %.  
Návrh nového řešení provést s ohledem na co největší využitelnost využitelnosti strojů a úsporu pracovní plochy v hale.  
Prokázat, že novým řešením došlo ke zvýšení kvality svařování a snížení zmetkovitosti výroby.  
Vyčíslení ekonomických úspor přijetím návrhu nového řešení svařovacího pracoviště.  
Vyhodnocení dosažených cílů a doporučení pro praxi.

**Seznam doporučené literatury:**

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů VI. Čtvrté vydání. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. ISBN- 978-80-606310-8-3.

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

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIAM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce vypracovaná ve spolupráci s firmou Norma Czech s.r.o. se zabývá návrhem a realizací automatizovaného pracoviště bodového svařování. V první části bakalářské práce jsou popsány současné informace a poznatky o problematice upínání svařenců a jejich manipulace. S využitím znalostí o svařovacích přípravcích je poté vypracován návrh nejen svařovacího přípravku, ale celého svařovacího pracoviště s automatizačními prvky. Návrh tohoto pracoviště je poté realizován v praxi s důrazem na úsporu místa ve výrobní hale, zvýšení produktivity a efektivity pracoviště. Díky aplikaci robotického ramena UR 5 ve výrobní buňce dojde ke zvýšení produktivity měřené počty kusů na jednoho pracovníka (PPH) o 96 %.

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis made in collaboration with Norma Czech s.r.o. company deals with designing and implementing automated spot welding workplace. The first part of the bachelor thesis is describing current information and knowledge about clamping of weldments and its manipulation. Using the knowledge of welding jigs, a design of not only welding jig, but also of the entire welding workplace with automation elements is then made. This design is then implemented in practice with main goals to save as much as possible space in the production hall, increasing productivity and effectivity of workplace. Thanks to the application of the UR 5 robotic arm in work cell is productivity measured by number of pieces per people hour (PPH) increased by 96 %.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

bodové svařování, aplikace robotického ramena, zvýšení produktivity, výrobní buňka, automatizace výroby

## **KEYWORDS**

spot welding, robotic arm application, increasing of productivity, work cell, production automation



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHLUP, Adam. Automatizace pracoviště bodového svařování. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139774>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Radku Knoflíčkovi za konstruktivní zpětnou vazbu při psaní závěrečné práce a rady, které mi umožnili její dokončení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Vrzalovi ze společnosti Norma Czech s.r.o., který mně zprostředkoval téma bakalářské práce a umožnil její zpracování.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Radka Knoflíčka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2022

.....

Chlup Adam



# OBSAH

|          |                                                                                                                                                               |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>                                                                                                                                             | <b>15</b> |
| <b>2</b> | <b>POPIS SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ PROBLEMATIKY UPÍNÁNÍ SVAŘENCŮ, JEJICH MANIPULACE A SVAŘOVÁNÍ.....</b>                                                       | <b>17</b> |
| 2.1      | Upínání svařenců .....                                                                                                                                        | 18        |
| 2.1.1    | Svařovací přípravky .....                                                                                                                                     | 18        |
| 2.2      | Manipulace se svařovacími přípravky a svařenci .....                                                                                                          | 20        |
| 2.2.1    | Manipulátory .....                                                                                                                                            | 20        |
| 2.2.2    | Polohovadla .....                                                                                                                                             | 21        |
| 2.3      | Prvky automatizace ve svařování .....                                                                                                                         | 25        |
| 2.3.1    | Lineární automat.....                                                                                                                                         | 25        |
| 2.3.2    | Svařovací traktor.....                                                                                                                                        | 25        |
| 2.3.3    | Orbitální hlava TIG .....                                                                                                                                     | 26        |
| 2.3.4    | Svařovací automat .....                                                                                                                                       | 26        |
| 2.3.5    | Svařování s využitím robotu.....                                                                                                                              | 27        |
| <b>3</b> | <b>ROZBOR PROBLEMATIKY A NÁVRH POLOAUTOMATICKÉHO PRACOVÍŠTĚ ODSTRAŇJÍCÍ STÁVAJÍCÍ NEVÝHODY VYSOKÉHO PODÍLU MANUÁLNÍ PRÁCE BĚHEM SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTEK .....</b> | <b>29</b> |
| 3.1      | Kapacitní studie a využitelnost .....                                                                                                                         | 31        |
| 3.2      | Využitelnosti jednotlivých strojů, možnosti jejich sloučení a odstranění přebytečných strojů .....                                                            | 33        |
| 3.3      | Volba součástky pro automatizaci a výrobní proces .....                                                                                                       | 34        |
| 3.4      | Manuální pracoviště bodového svařování .....                                                                                                                  | 35        |
| 3.4.1    | Zhodnocení celkového výrobního postupu.....                                                                                                                   | 37        |
| 3.5      | Návrh nového výrobního postupu.....                                                                                                                           | 37        |
| 3.6      | Návrhy layoutu nové výrobní buňky .....                                                                                                                       | 38        |
| <b>4</b> | <b>DETAILNÍ POPIS NOVÉHO SVAŘOVACÍHO PRACOVÍŠTĚ, VČETNĚ PRACOVNÍHO CYKLU NA POLOAUTOMATICKÉM (PŘÍPADNĚ PLNĚ AUTOMATIZOVANÉM) PRACOVÍŠTI. ....</b>             | <b>41</b> |
| 4.1      | Detailní rozvržení nového pracoviště a stěhování strojů .....                                                                                                 | 41        |
| 4.2      | Svařovací přípravek .....                                                                                                                                     | 43        |
| 4.3      | Koncový efektor robotu .....                                                                                                                                  | 48        |
| 4.3.1    | První návrh koncového efektoru.....                                                                                                                           | 48        |
| 4.3.2    | Druhý návrh koncového efektoru .....                                                                                                                          | 51        |
| 4.4      | Finální výrobní postup .....                                                                                                                                  | 54        |
| 4.5      | Bezpečnost na pracovišti .....                                                                                                                                | 55        |
| 4.5.1    | Oplocení.....                                                                                                                                                 | 55        |
| 4.5.2    | Bezpečnostní senzory a prvky .....                                                                                                                            | 57        |
| 4.6      | Zapojení vstupů a výstupů robotu.....                                                                                                                         | 59        |
| 4.7      | Program robotu .....                                                                                                                                          | 62        |
| <b>5</b> | <b>VÝPOČTY PROKAZUJÍCÍ ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY .....</b>                                                                                                         | <b>65</b> |
| <b>6</b> | <b>VYČÍSLENÍ EKONOMICKÝCH ÚSPOR.....</b>                                                                                                                      | <b>66</b> |
| <b>7</b> | <b>VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH CÍLŮ.....</b>                                                                                                                       | <b>67</b> |
| <b>8</b> | <b>ZÁVĚR.....</b>                                                                                                                                             | <b>68</b> |
| <b>9</b> | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>                                                                                                                          | <b>69</b> |

|           |                                                        |           |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>10</b> | <b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b> | <b>71</b> |
| 10.1      | Seznam tabulek.....                                    | 71        |
| 10.2      | Seznam obrázků.....                                    | 71        |
| <b>11</b> | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>                              | <b>74</b> |

# 1 ÚVOD

V současné době je standardem využití ve výrobě možností třetí průmyslové revoluce. Předmětem této průmyslové revoluce byla především automatizace a robotizace pracovišť. Díky prvkům automatizace jsme schopni dosahovat daleko lepších kvalit výrobků a vyšší produkce na výrobních linkách, než jsme byli schopni s lidskými pracovníky. Postupná automatizace jednotlivých pracovišť, na kterých jsou prováděny jednoduché úkony, které nevyžadují pozornost a vlastnosti lidského operátora je proto novou cestou v průmyslu.

Mnozí však vidí automatizaci a robotizaci jako krok, který vezme lidem práci. Při správném nastavení výrobních procesů toto však nemusí být pravdou a roboty mohou sloužit lidem jako pomocný pracovník ve výrobním procesu, který ušetří monotónní a repetitivní a postupy ve výrobě, které se kvůli své jednoduchosti a velké opakovanosti mohou stát nebezpečnými pro samotné pracovníky.

Hlavním cílem bakalářské práce je tedy navrhnout a zrealizovat poloautomatizované pracoviště bodového svařování, které bude využívat robotické rameno. Díky tomuto robotickému ramenu by mělo dojít ke snížení zmetkovitosti, zvýšení produktivity měřené počty kusů na jednoho pracovníka (PPH), čímž by mělo dojít k ekonomickým úsporám spojených s nákladem na čas jednoho pracovníka. Nové poloautomatizované pracoviště by také mělo být navrženo tak, aby ve výrobní hale zabíralo co nejméně místa.



## 2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ PROBLEMATIKY UPÍNÁNÍ SVAŘENCŮ, JEJICH MANIPULACE A SVAŘOVÁNÍ

Svařenec se nazývá součást, která vznikne po spojení různých tvarově jednodušších polotovarů, odlitků nebo v některých případech i výkovků svarovým spojem. Výroba svařenců může být v mnoha případech cenově výhodným řešením i přesto, že se upínání polotovarů do potřebného tvaru svařence může zdát zbytečně složité. U složitějších konstrukcí jsme díky technologii svařování schopni ušetřit velké množství materiálu, který by musel být odebrán například při využití metody obrábění. Svařence se v některých případech dále zpracovávají, a to především metodou obrábění. [1]

Mezi hlavní výhody svarového spoje patří jeho vysoká pevnost, trvanlivost a také těsnost. Svařence mohou mít takřka neomezené rozměry, kdy záleží především na možnosti upnutí jednotlivých svařovaných součástí. Nevýhodou svařování je nerozebíratelnost spojů, změna struktury svařovaného materiálu a tím i mechanických vlastností svarových spojů a také vznik vnitřních pnutí a deformací, případně výskyt vnitřních vad materiálů. [1]



Obr. 1) Svařenec velkých rozměrů [2]

## 2.1 Upínání svařenců

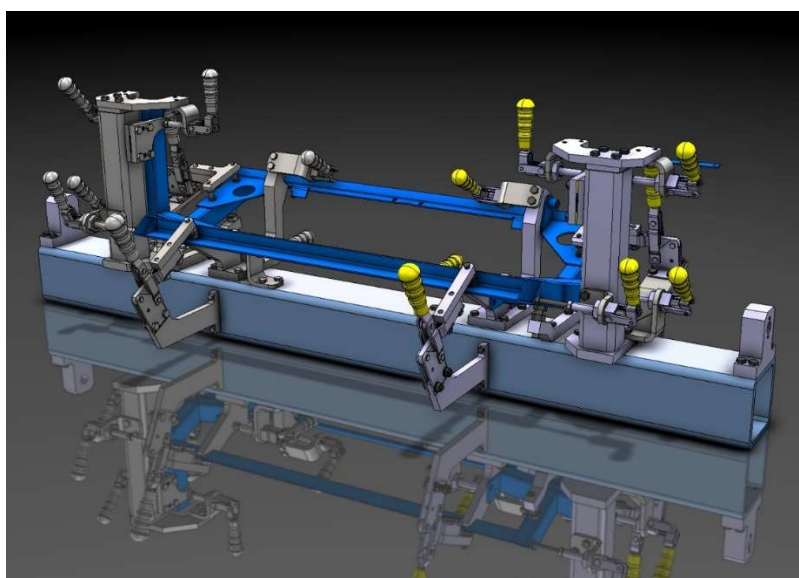
Pro výrobu svařenců je třeba svařované komponenty upnout v požadované poloze a zaaretovat je tak, aby během operace svařování nedošlo k jejich vychýlení z požadované pozice. K tomuto využíváme tzv. svařovací přípravky.

### 2.1.1 Svařovací přípravky

„Konstrukce přípravku je základem přípravy výroby, ať se jedná o manuální, automatické nebo robotické svařování.“ [3]

#### 2.1.1.1 Speciální svařovací přípravky

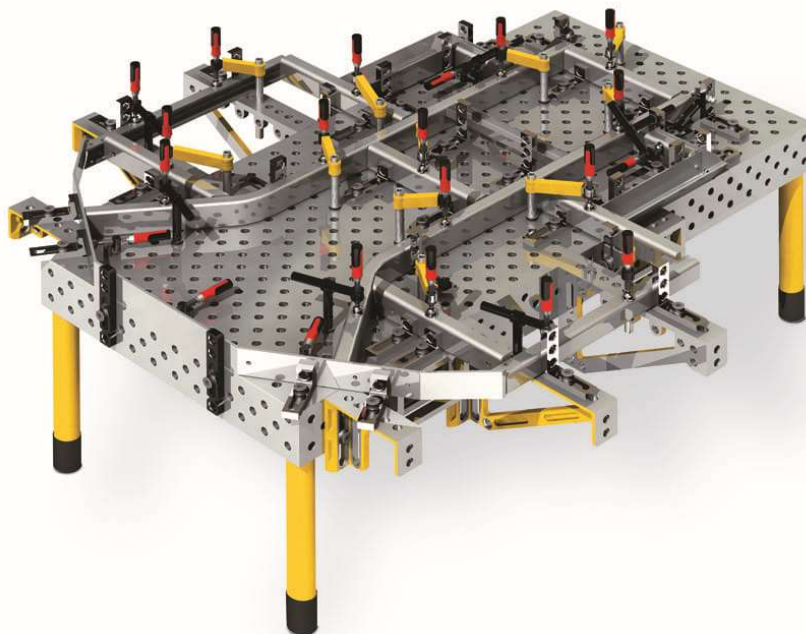
Speciální neboli jednoúčelové svařovací přípravky se využívají při automatickém a robotickém svařování. Je u nich kladen důraz na rychlost a přesnost při upínání dílů. Tyto svařovací přípravky jsou navrženy tak, aby přesně odpovídali specifikacím daného výrobního postupu. Z tohoto důvodu je jejich výroba drahá, tudíž se využívají pouze pro sériovou výrobu. [3]



Obr. 2) Svařovací přípravek na svařování dílů v těžkém průmyslu [4]

#### 2.1.1.2 Modulární svařovací přípravky

Modulární neboli rozebíratelné svařovací přípravky se využívají pro malé série, případně pro výrobu prototypů. Pro jejich konstrukci se využívají univerzální upínací prvky, mezi které patří rámy, dorazy, opěrky, svěrky, magnetické upínky, pákové, výstředníkové a ostatní mechanismy a rychloupínky. [3]



Obr. 3) Modulární svařovací stůl [5]

#### 2.1.1.3 Stehovací svařovací přípravky

Stehovací svařovací přípravky se využívají především pro rozměrově větší a složitější svařence, které je potřeba nejdříve svařit metodou stehování. Po svaření stehováním jsou poté svařence přepnuty do upevňovacích svařovacích přípravků, ve kterých je dokončena operace svařování. Stehovací přípravky bývají lehké konstrukce a klade se u nich důraz na přesnost sestavení svařence a přístupnost ke spojům. Z důvodu tuhosti se stehuje od obvodu směrem ke středu svařence a je důležité, aby byl proveden dostatečný počet svarů, které zajistí požadovanou tuhost proti deformaci při volném svařování v upevňovacím přípravku. [3]

#### 2.1.1.4 Upevňovací svařovací přípravky

Do upevňovacích svařovacích přípravků se upínají předem nastehované komponenty. U volného svařování sestehovaných dílů se svařuje od středu k okraji. Aby došlo k co největšímu zamezení deformace, je třeba pro každý svařenec vytvořit plán sekvencí svařování. Vhodné je také využití souběžného (balancovaného) svařování, kdy se například pomocí dvou robotů svařuje zároveň na opačných stranách svařence, což zamezuje vzniku deformací. [3]



Obr. 4) Souběžné svařování [6]

## 2.2 Manipulace se svařovacími přípravky a svařenci

### 2.2.1 Manipulátory

Manipulátor je zařízení, které slouží pro manipulaci se svařovací hlavou. Využívá se převážně v kombinaci s jednostupňovým kladkovým polohovadlem nebo jednostupňovým horizontálním polohovadlem. Manipulátory mohou mít dva až tři stupně volnosti. [3]



Obr. 5) Manipulátor s kladkovým polohovadlem [7]

## 2.2.2 Polohovadla

Polohovadla slouží k nastavení svařence do potřebné polohy při svařování. Může být využit i pro další výrobní operace. Na polohovadla lze upnout i svařovací přípravek, do kterého se poté upevňuje svařenec. Pohyb polohovadla může být zkoordinován s pohybem automatu nebo robotu pro zajištění rychlejšího a efektivnějšího svařování. [3]

Polohovadla existují v mnoha typech, variantách i velikostích. Využívají se malá stolová polohovadla, ale i obrovská kladková polohovadla, které manipulují s mnohatunovými svařenci. Mezi základní druhy polohovadel můžeme zařadit kladkové, čepové a stolní. [3]



Obr. 6) Polohovadlo [8]

### 2.2.2.1 Kladková polohovadla

Kladkové polohovadlo je tvořeno z nejméně dvou párů kladek, přičemž jedna dvojice je hnací a druhá volná (opěrná). Skládá se z rámu, dvou kladek, pohonu, motoru a ovládání. Pohon kladkového polohovadla může být třecí, řetězový nebo ozubený. Výhoda je jeho nízká pořizovací cena a taky nízké nároky na údržbu a opravy. Využívá se při výrobě rotačních dílů, které rotují kolem horizontální osy. Kladkové polohovadlo může být využito pro manuální i automatické svařování. Většinou se využívá na obvodové svary a návary. Svařovací hlava může být na jednom místě, nebo se může posouvat konstantní rychlostí současně s rotací svařence. Kladkové polohovadlo lze využít i pro podélné svary. [3]



Obr. 7) Kladkové polohovadlo [9]

#### *2.2.2.2 Stolové (sklopné) polohovadlo*

Stolové polohovadlo může mít dva až tři stupně volnosti. Jedná se o polohovací zařízení, které lze využít pro manuální, automatické i robotické svařování a navařování. Lze jej také využít k dalším operacím jako řezání, broušení, čištění a montáž. [3]

Pro manuální svařování jsou vyráběna stolová polohovadla, která lze naprogramovat na jednotlivé polohy. Mezi těmito polohami poté svářeč volí pomocí nožního přepínače. S využitím stacionární svařovací hlavy se dají také využít pro obvodové svary. Stolové polohovadlo lze nastavit tak, aby se otáčelo konstantní rychlostí. Třetím stupněm volnosti je zdvih. [3]



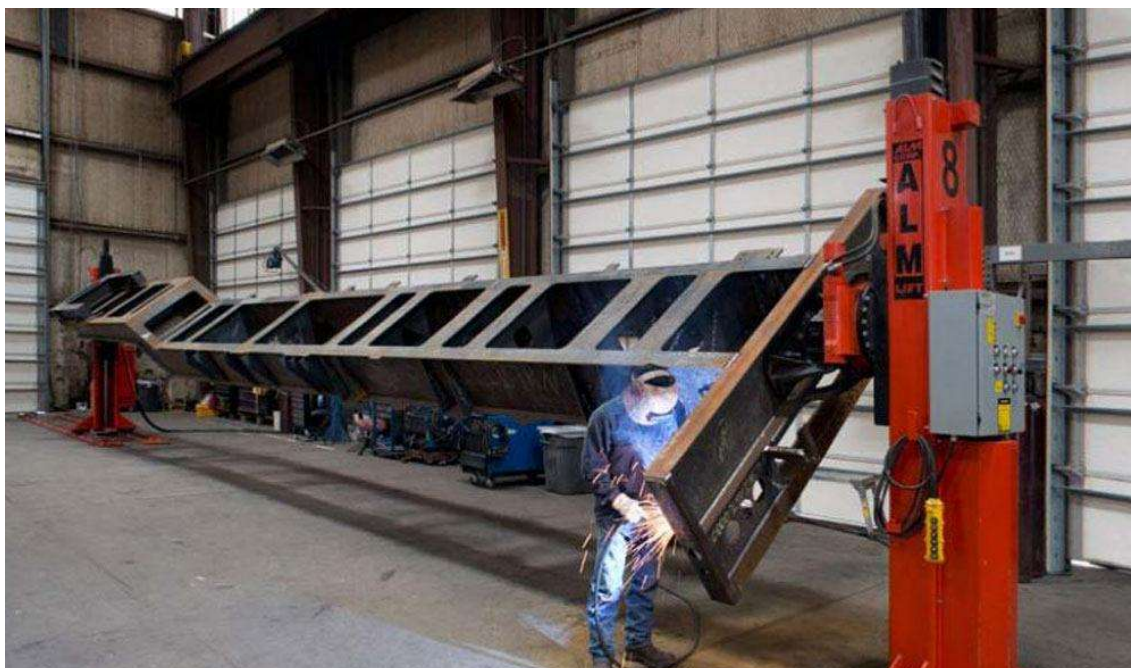
Obr. 8) Stolové polohovadlo [10]

#### 2.2.2.3 Kolébkové polohovadlo

Kolébkové polohovadlo neboli polohovadlo otočné s náklonem je zvláštní varianta stolového sklopného polohovadla. Otočný stůl je u tohoto druhu polohovadla upevněn na rameni čepového polohovadla, které lze naklápět na obě strany. [3]

#### 2.2.2.4 Čepové (deskové) polohovadlo

Čepové polohovadlo svojí konstrukcí připomíná soustruh. Má jeden stupeň volnosti, který zajišťuje, že svařovací plocha rotuje kolem horizontální osy. Na rozdíl od kladkového polohovadla má tu výhodu, že rychlost rotace nemusí být nutně konstantní a lze ji naprogramovat pro potřeby svařování robotem. Na pracovním stole může být upnuto i více svařenců z obou stran. Toto polohovadlo je výhodné pro dlouhé svařence, u kterých díky programovatelnému otáčení umožňuje snadný přístup ke všem svarům. Při některých operacích může být svařovací hlava těžší než samotný svařenec, proto je vhodné využití speciálních přípravků, díky kterým můžeme dosáhnout horizontálního i vertikálního posuvu, tedy místo svařovací hlavou posouváme svařencem. Tento druh polohovadla se využívá především pro svařování konstrukcí nosníků, strojních a vozidlových rámců, nákladních a železničních zásobníků, trupů tanků, turbín aj. [3]



Obr. 9) Čepové polohovadlo [11]

#### 2.2.2.5 Čepové polohovadlo se sníženou deskou

Jedná se o speciální variantu čepového polohovadla, u kterého je deska stolu posunuta níže než je osa rotace. Díky tomuto můžeme efektivněji otáčet s těžkými a rozměrnými svařenci. Tento způsob je také výhodnější pro polohování některých druhů svarů. [3]



Obr. 10) Čepové polohovadlo se sníženou deskou [11]

## 2.3 Prvky automatizace ve svařování

### 2.3.1 Lineární automat

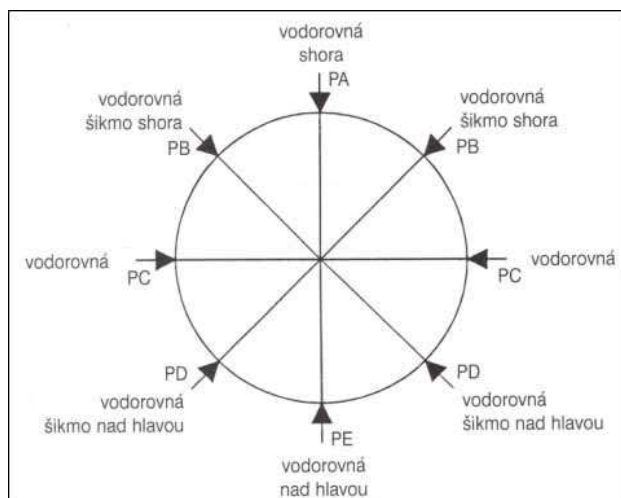
Lineární automat bývá konstruován jako modulární systém, který lze přizpůsobit potřebám a požadavkům dané výroby. Dráha automatu může být ohebná a je možné ji k podkladu přichytit magnety nebo přísavkami. Vozík s vlastním pohonem je konstruován tak, že může jezdit i v obrácených polohách. Na vozíku je upevněn držák hořáku, který umožňuje nastavení ve dvou osách. [3]

### 2.3.2 Svařovací traktor

Svařovací traktor je zařízení, které se využívá především při metodě svařování pod tavidlem. Toto zařízení pojíždí přímo po svařovaném materiálu a svařuje koutovým svarem. Využívá se pro svařování dlouhých konstrukcí a může svařovat v poloze PA a PB. [3]



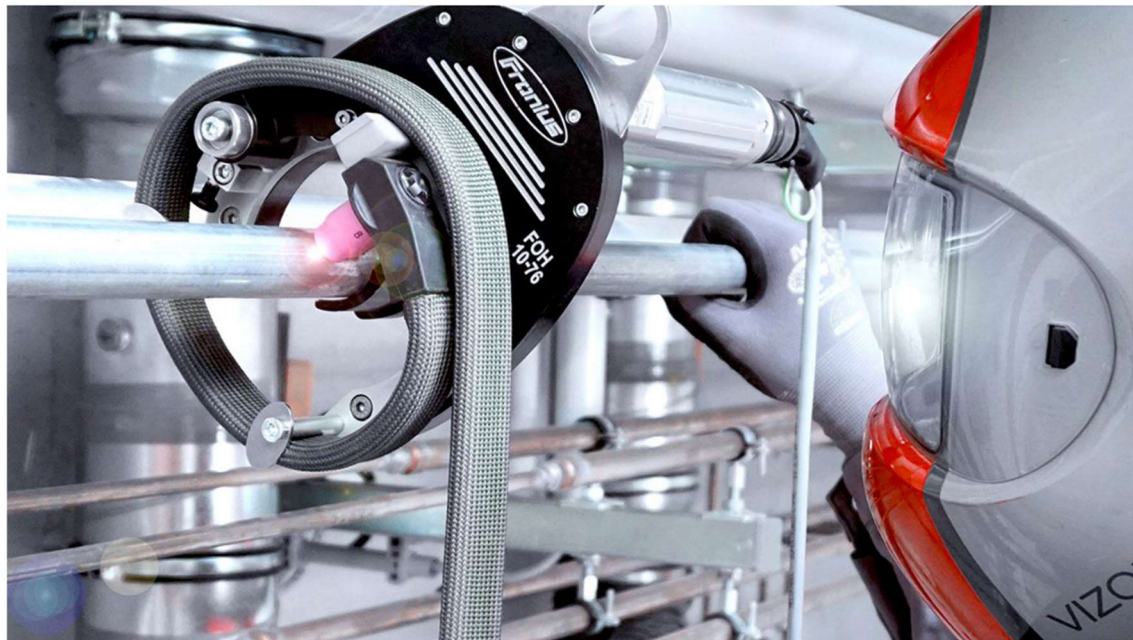
Obr. 11) Svařovací traktor [12]



Obr. 12) Svařovací polohy [13]

### 2.3.3 Orbitální hlava TIG

Orbitální hlava TIG se využívá pro svařování trubek po jejich obvodu. Orbitální svařování je technologicky náročné, jelikož se během svařování plynule mění všechny polohy svařování a je třeba proměnlivě upravovat parametry svařování podle aktuální polohy. Toto umožňuje právě metoda TIG, kterou lze programovat. [3]



Obr. 13) Orbitální svařování [14]

### 2.3.4 Svařovací automat

Svařovací automat je jednoúčelové zařízení, které ve většině případů provádí svařování pouze jednoho druhu svaru. Využívá se především v automobilovém průmyslu pro výrobu menších svařenců odporovým svařováním. [3]

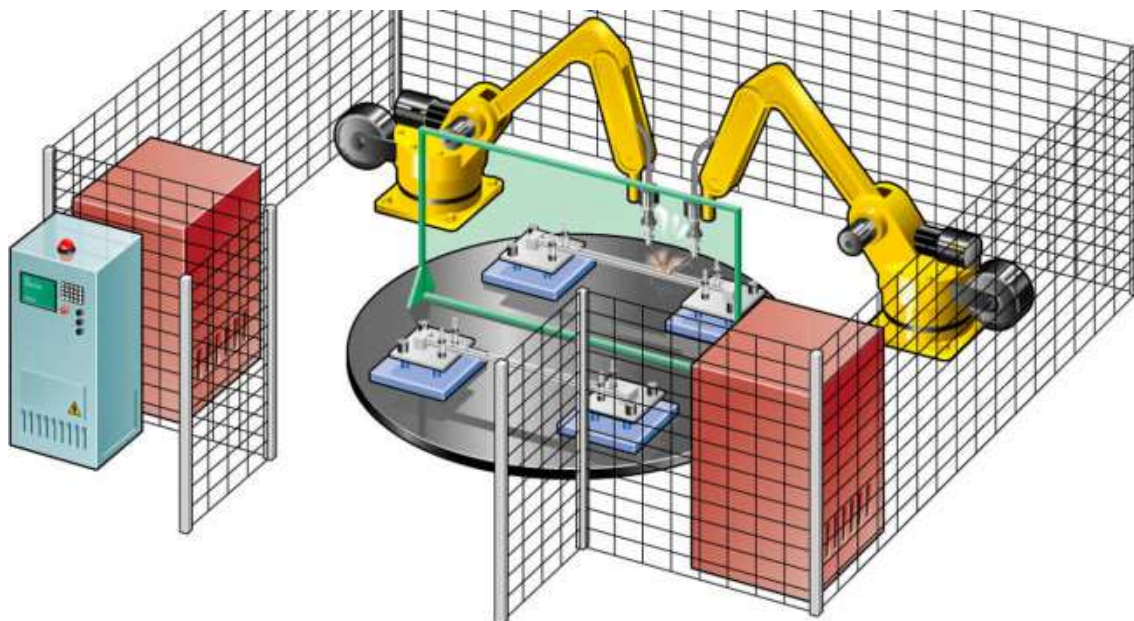


Obr. 14) Svařovací automat [15]

### 2.3.5 Svařování s využitím robotu

Pro potřeby svařování robotem se využívá kombinace robotu a polohovadla. Díky této kombinaci jsme schopni zajistit plynulý a efektivní průběh svařování. Robot s šesti stupni volnosti v kombinaci polohovadlem s jedním až třemi stupni volnosti jsou schopni správně polohovat a svařit takřka jakýkoliv druh svařence. Díky poměrně snadné programovatelnosti se robotické svařování v současnosti využívá pro velkosériovou i malosériovou výrobu. [3]

Pro robotické pracoviště je klíčové dosáhnout co nejvyšší využitelnosti, které může být až 100 %. Abychom dosáhli této využitelnosti je třeba oddělit pracovní prostor robotu a operátora. Pro propojení obou pracovišť se využívá otočných stolů. Kvůli ochraně zraku operátora je také za potřebí, aby byl prostor mezi pracovišti oddělen neprůsvitnou přepážkou. [3]



Obr. 15) Oddělený pracovní prostor robotu a operátora [16]

V jednodušším výrobním procesu se operátor stará o zakládání svařence do přípravku a jeho vyjímání. Můžeme se setkat i se zakládáním svařence jiným robotickým manipulátorem. Tento způsob zakládání můžeme najít například v automobilovém průmyslu. [3]

Celý systém robotu a polohovadla ovládá z pravidla řídicí systém robotu. Po založení svařence do polohovadla operátor spustí program robotu a tím začne svařování. Otočný stůl se otočí o  $180^\circ$  a poskytne operátorovi přístup k odebrání již svařeného svařence a robotickému ramenu k novému svařenci. Po odebrání svařence operátor zakládá novou sestavu do polohovadla. Aby byla výroba efektivní je třeba, aby práce operátora byla kratší než samotné svařování. [3]

### 3 ROZBOR PROBLEMATIKY A NÁVRH POLOAUTOMATICKÉHO PRACOVISTĚ ODSTRAŇJÍCÍ STÁVAJÍCÍ NEVÝHODY VYSOKÉHO PODÍLU MANUÁLNÍ PRÁCE BĚHEM SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTEK

Ve výrobní hale č. 2 firmy Norma Czech se nachází deset strojů, které provádí bodové svařování spojovacích technologií, které jsou využívány v automobilovém průmyslu, stavebnictví a vodohospodářství. Tyto stroje nesou čísla 87, 212, 214, 215, 216, 238, 273, 302, 362 a 374. Výrobce používaných bodových svářeček jsou firmy Dalex Werke, Aro, Nimak a Cea Italy. Rozdílnost řídicích jednotek různých firem zbytečně komplikuje seřizování strojů, které je takřka pro každou bodovou svářečku unikátní.

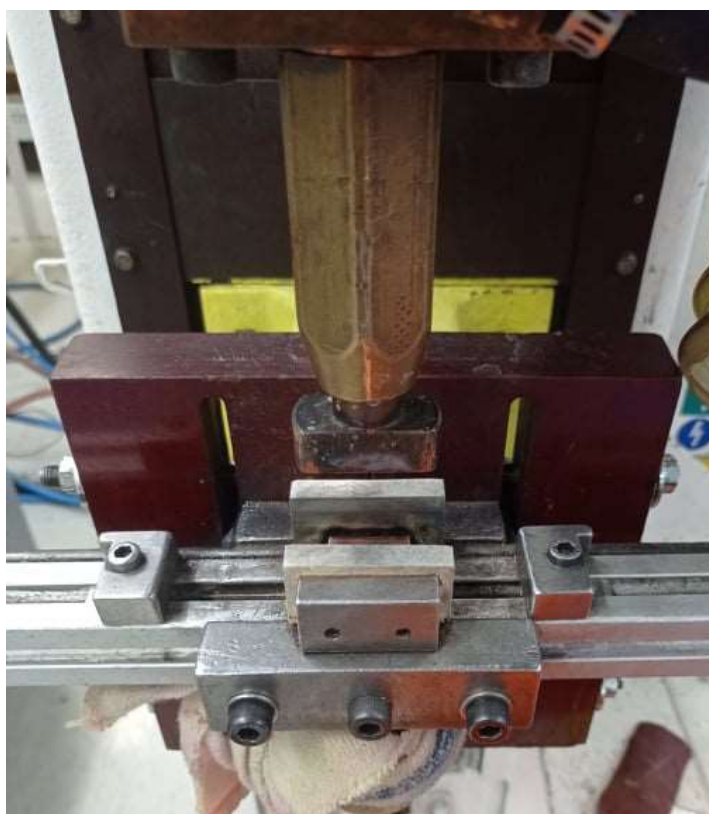


Obr. 16) Bodová svářečka firmy od Dalex Werke



Obr. 17) Bodová svářečka od firmy ARO

Práce na těchto strojích je plně manuální a provádí ji operátor. Na bodových svářečkách se provádí svařování konstrukčně jednoduchých i složitějších kusů, které se skládají z více komponent. Při svařování jednodušších kusů je využíván přípravek, který je napevno spojen se strojem viz obr. 18).



Obr. 18) Svařovací přípravek napevno spojený se strojem

Do tohoto přípravku operátor vkládá potřebně natvarovaný kus z předešlých výrobních postupů a stiskem tlačítka provede operaci svařování. Pro složitější svařence, které se skládají z více komponent, jsou využívány přípravky, do kterých operátor vkládá a upíná jednotlivé komponenty viz obr. 19), které následně ve více krocích svaří.



Obr. 19) Svařovací přípravek pro složitější svařence

Takto zaaretované komponenty v přípravku vloží do bodové svářečky a opět stiskem tlačítka, případně sešlápnutím pedálu provede svaření. Tyto složitější kusy mají více svarů, takže po provedení prvního svaru je třeba přípravek vyjmout, otočit a svařit díl na nové pozici. Složitější výrobky mají větší prostor pro vytvoření chyby operátorem, který může pochybit při vkládání a aretování komponent v přípravku, případně při umísťování svaru, který může být vychýlený oproti žádoucí pozici.

Stroje určené na bodové svařování jsou oproti jiným strojům využívány relativně málo. To je způsobeno především tím, že jich je ve výrobě umístěno zbytečně velké množství a výrobu většinou dokážou pojmout tři stroje. Vysoký počet strojů má i své výhody. Každý stroj je nastavený na specifický druh spon, tudíž se nemusí tak často měnit nastavení svařování a seřizování svařovacích přípravků.

Vzhledem k nedostatku místa ve výrobní hale 2 je vhodnější, aby se zde nacházely pouze stroje, které budou mít vysokou využitelnost i za cenu častějšího seřizování. Pro získání představy o využitelnosti jednotlivých strojů bylo třeba nejdříve sestavit pro každý stroj tzv. kapacitní studii. Kapacitní studie můžeme posléze využít při získávání místa ve výrobní hale. Díky nim můžeme říci, které stroje jsou zbytečné a tím pádem je můžeme odstranit.

### 3.1 Kapacitní studie a využitelnost

Aby bylo možné začít s návrhem nové výrobní buňky bylo nejdříve třeba ve výrobní hale 2 firmy Norma Czech s.r.o. uvolnit potřebný prostor, ve kterém bude nová výrobní buňka umístěna. Prostor pro výrobní buňku byl vybrán v místě, kde se nachází právě bodové svářečky

viz obr. 23). Aby bylo možné některé bodové svářečky vyřadit bylo třeba vypracovat kapacitní studie.

Kapacitní studie slouží k získání informací o výrobě, která probíhá na daném stroji. To znamená, že díky kapacitním studiím můžeme například zjistit zdali výroba probíhá na daném stroji efektivně, či nikoliv. Informace z těchto studií jsou cenné pro plánování výroby a rozdělování práce mezi jednotlivé stroje a výrobní buňky. Na základě těchto studií lze například také určit, který stroj má vysokou využitelnost a který je z hlediska výroby zanedbatelný. Díky těmto informacím lze poté optimalizovat výrobu a maximalizovat využitelnost jednotlivých strojů i celé výrobní haly.

Kapacitní studie se vypracovává pro každý stroj v halách Norma Czech. Pomocí těchto studií lze pozorovat určité parametry na stroji. Mezi hlavní sledovaný parametr v kapacitní studii patří tzv. OEE (Overall equipment effectiveness), česky CEZ (Celková efektivnost zařízení). Tento parametr udává, jak efektivně je plněna norma výroby. To znamená, jak efektivně je zařízení využíváno během času výroby, respektive kolik procent času z pracovního cyklu je stroj využíván.

Díky kapacitním studiím lze provádět optimalizaci jednotlivých strojů, čímž můžeme zvýšit jejich využitelnost, a tím šetřit náklady na výrobu. Pro výpočty se využívají data z výroby za uplynulé měsíce, která operátoři po skončení směny nahrávají do systému. Tato data jsou poté vložena do programu, který vše přepočítá a informace pro zlepšení přehlednosti převede do grafů. Program vypočítává OEE na základě času cyklu jednoho dílu a celkového času poskytnutému stroji. Parametr OEE jednotlivých bodových svářeček můžeme vidět v tabulce 1).

Tab 1) OEE jednotlivých strojů

| č. stroje | OEE    |
|-----------|--------|
| 87        | 71,00% |
| 212       | 86,00% |
| 214       | 83,00% |
| 215       | 88,00% |
| 216       | 82,00% |
| 238       | 88,00% |
| 273       | 95,00% |
| 302       | 50,00% |
| 362       | 92,00% |
| 374       | 95,00% |

Z kapacitních studií lze dalšími přepočty získat využitelnost. Využitelnost udává hodnotu v procentech, kolik času z celkového poskytnutého času za dané období, v našem případě za rok tří směnného osmi hodinového provozu, stroj běží a vyrábí. Využitelnost v procentech jednotlivých strojů můžeme vidět v tabulce 2).

Tab 2) Využitelnosti jednotlivých strojů

| č. stroje | 2019   | 2020   | 2021   |
|-----------|--------|--------|--------|
| 87        | 3,89%  | 2,84%  | 2,84%  |
| 212       | 0,05%  | 0,05%  | 0,07%  |
| 214       | 2,74%  | 1,63%  | 2,89%  |
| 215       | 20,70% | 6,70%  | 1,84%  |
| 216       | 2,72%  | 1,48%  | 1,91%  |
| 238       | 12,30% | 3,68%  | 6,14%  |
| 273       | 5,32%  | 9,12%  | 3,22%  |
| 302       | 2,60%  | 1,91%  | 2,71%  |
| 362       | 18,44% | 7,25%  | 2,46%  |
| 374       | 27,86% | 14,30% | 19,16% |

U strojů, které provádí bodové svařování je využitelnost nízká. Takto nízká využitelnost je způsobena tím, že se ve výrobě nachází zbytečně mnoho strojů, mezi které je výroba roz distribuována. Průměrná hodnota využitelnosti jednotlivých strojů bodového svařování je 6,29 %. Z tohoto údaje můžeme říci, že je zbytečné, aby ve výrobní hale stálo deset strojů. Z hlediska úspory prostoru a také z důvodu získání prostoru pro novou výrobní buňku bude žádoucí některé stroje vyřadit a výrobu sloučit na méně bodových svářeček.

### 3.2 Využitelnosti jednotlivých strojů, možnosti jejich sloučení a odstranění přebytečných strojů

Pro získání přehledu o jednotlivých strojích a možnostech jejich sloučení, bylo třeba pro každý stroj vypracovat kapacitní studii, ze které lze vyčíst využitelnost. Díky využitelnosti můžeme poté určit, zdali je třeba mít ve výrobě deset strojů, či bude dostačující menší množství. V tabulce 2) lze vidět využitelnost jednotlivých strojů za roky 2019, 2020 a 2021. Z hodnot v tabulce lze vyčíst, že využitelnosti jednotlivých strojů bodového svařování jsou minimální, tudíž bude možné některé stroje vyřadit z výroby a tím vytvořit prostor pro novou výrobní buňku.

Nejvyšší využitelnost má stroj č. 374, který je univerzální a jediný svého druhu ve výrobě. Jeho využitelnost pro rok 2021 byla 19,16 %. Nejnižší využitelnost měl poté stroj 212, jehož využitelnost byla pro rok 2021 0,07 %. Nejvytíženější stroj má tedy využitelnost 19,16 %, což svědčí o tom, že deset strojů je zbytečných a výrobu bude schopno pojmout méně strojů.

Dále bylo třeba určit, které stroje lze vyřadit tak, aby byla zachována schopnost vyrábění rozdílných součástí na strojích, které ve výrobě setrvávají. Vzhledem k tomu, že každý stroj je jiný a má jiné vlastnosti, bylo nutné vybrat stroje, které jsou schopné nahradit práci jiných strojů. Očíslované stroje byly rozříděny do kategorií podle jejich podobnosti, co se stavby stroje týče. Tyto skupiny strojů jsou v tabulce 1) označeny stejnou barvou pozadí. Při rozřazování strojů do skupin byla maximální snaha, aby výroba byla co nejlépe zaměnitelná bez dalších potřebných úprav elektrod a přípravků.

Mezi další hlavní kritický parametr patří výkon stroje, který lze vidět v tabulce 3).

Tab 3) Výkony jednotlivých strojů bodového svařování

| č. stroje | Výkony  |
|-----------|---------|
| 238       | 28 kVA  |
| 212       | 35 kVA  |
| 362       | 35 kVA  |
| 273       | 50 kVA  |
| 374       | 50 kVA  |
| 87        | 80 kVA  |
| 302       | 80 kVA  |
| 216       | 90 kVA  |
| 214       | 112 kVA |
| 215       | 112 kVA |

Dle této tabulky byly vybrány nejvýkonnější stroje z každé skupiny, tj. stroje č. 212, 302, 215. V ideálním případě bude snaha o zachování pouze těchto strojů. Pro tyto stroje bylo třeba ověřit, zda budou schopny pojmout celkovou výrobu. V tabulce 4) můžeme vidět teoretickou využitelnost, kdyby v letech 2019, 2020 a 2021 fungovaly pouze tři vybrané stroje.

Tab 4) Teoretické využitelnosti strojů při sloučené výrobě

| č. stroje | 2019   | 2020   | 2021   |
|-----------|--------|--------|--------|
| 302       | 46,45% | 32,86% | 31,60% |
| 212       | 13,62% | 4,24%  | 6,66%  |
| 215       | 19,11% | 8,34%  | 5,08%  |

Z tabulky lze říci, že tři vybrané stroje by měli bez problému zvládnout výrobu, která je v současnosti prováděna na deseti strojích.

Díky těmto informacím si můžeme dovolit odstranit několik strojů z výroby a tím především udělat prostor v hale pro výrobní buňku s robotem. Dalším důležitým výstupem z těchto informací je, že díky nízkým využitelnostem je možné jeden ze strojů vyřadit z výroby a využít ho při vyvíjení, programování, stavění a optimalizování výrobní buňky, ve které se budou svařovat pouze jedna součástka.

### 3.3 Volba součástky pro automatizaci a výrobní proces

Pro výběr součástky, která bude automatizována bylo třeba sestavit tabulku se všemi vyráběnými součástmi. Z této tabulky bylo následně vybráno tzv. top 10 highrunnerů. Highrunner je součást, která je ve výrobě nejvíce vyráběna, tzn, že se jedná o nejčastěji požadované položky zákazníkem.

Tab 5) Tab. Top 10 vyráběných součástí (highrunnerů)

| TOP 10        | Grand Total 2021 |
|---------------|------------------|
| 0410 4173 024 | 305010           |
| 0410 5177 026 | 83571            |
| 19818138018 1 | 79440            |
| 0410 3178 026 | 62110            |
| 0410 5186 026 | 29750            |
| 0569 6037 000 | 20750            |
| 0410 2173 024 | 20600            |
| 0168 5092 050 | 11960            |
| 0410 8413 056 | 10360            |
| 01686028075   | 9331             |

V levém sloupci tabulky můžeme vidět výrobní čísla spon, v pravém sloupci nalezneme celkový počet vyrobených kusů za rok 2021. Pro automatizaci byly vybrány hned první dvě součásti číslo 0410 4173 024 a 0410 5177 026. Jedná se o dva rozdílné průměry té samé spony. Spona nese název RCL (viz příloha č. 1). Jak můžeme vidět v tabulce 5), této spony se vyrábí 388581 ks ročně což tvoří 61,4 % všech svařování prováděných na bodových svářečkách.

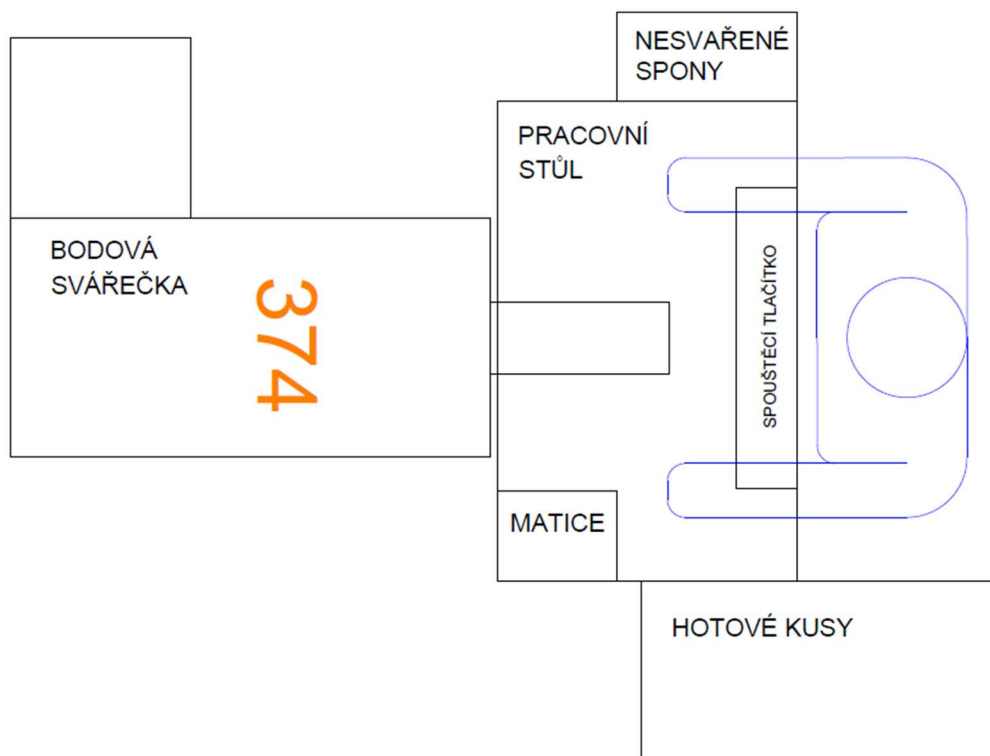
Výroba této spony začíná na hale 1, kde je pásovina nastříhána na potřebné délky a vytvarována takřka do konečné podoby co se tvaru spony týče (viz obr. 20 bod 1). Poté je spona převezena na halu 2 na stanoviště, kde se provádí bodové svařování (viz obr. 20 bod 2). Právě kvůli zakládání do bodové svářečky není spona vytvarována do konečné podoby již z haly 1. Po svaření je spona převezena na stanoviště, kde se provádí dotváření na lisech (viz obr. 20) bod 3). Po operaci dotváření je třeba sponu opět převést na poslední stanoviště, kde se do ní manuálně šroubuje šroub s mazivem (viz obr. 20) bod 4).



Obr. 20) Výrobní proces spony RCL

### 3.4 Manuální pracoviště bodového svařování

Na obrázku 21) můžeme vidět rozložení manuálního pracoviště bodového svařování. Operátor sedí před strojem a vedle sebe má bednu se sponami, krabici s maticemi a bednu do které odkládá hotové, respektive pouze svařené kusy.



Obr. 21) Layout manuálního pracoviště

Spona RCL je velice jednoduchá a rychlá na svařování. Ke sponě se navařuje pouze jedna matice viz obr. 20). Výrobní postup probíhá následovně. Operátor uchopí sponu a založí ji, respektive napíchne, na spodní elektrodu bodové svářečky viz obr. 22).



Obr. 22) Elektrody bodové svářečky pro svařování spony RCL

Následně uchopí matici a správnou stranou ji vloží rovněž na spodní elektrodu bodové svařečky. Poté zmáčkne tlačítko, kterým dá signál do stroje, na základě kterého stroj začne svařovat. Po svaření operátor odebírá kus a vkládá ho do bedny s hotovými kusy.

Tento výrobní proces se stává tedy z pár lehkých kroků. Celkový čas cyklu v roce 2021 byl průměrně 6,46 s. Tento čas je zhruba ze 70 % (záleží na schopnostech operátora) tvořen vedlejšími časy, jako je zakládání komponentů a vybírání svařené spony. Samotné svařování tedy trvá pouze dvě sekundy.

Plně automatizovat tento jednoduchý výrobní proces by nebylo efektivní a výhodné. Aby byl robot schopen zakládat jednotlivé komponenty rychleji a efektivněji než lidský operátor, bylo by třeba využití speciálních dopravníků, které by dopravovali spony a matice ve správné poloze, případně by se muselo využít více robotů. Toto řešení by bylo finančně zbytečně nákladné a také prostorově náročné.

Automatizovat samotný proces svařování je tedy nevýhodné. Celý proces výroby spon by však mohl být urychlen, pokud by došlo ke spojení operací svařování, dotvarování a šroubování na jednom pracovišti.

### 3.4.1 Zhodnocení celkového výrobního postupu

V tabulce 6) můžeme vidět potřebné časy pro jednotlivé operace. Celý výrobní proces jedné spony tedy trvá 27,45 sekund. Důležité je zmínit, že je to čas bez započítání časů potřebných pro přepravu na následující operaci mezi jednotlivými stanovišti.

Tab 6) Průměrné časy cyklu jednotlivých operací při výrobě spony

|               | Průměr vteřin na ks |
|---------------|---------------------|
| Bodování      | 6,46                |
| Dotvarování   | 6,31                |
| Montáž šroubu | 14,68               |

Z celkové hodnoty času cyklu tedy můžeme říci, že automatizace takto dlouhého procesu by byla vhodná a proveditelná.

## 3.5 Návrh nového výrobního postupu

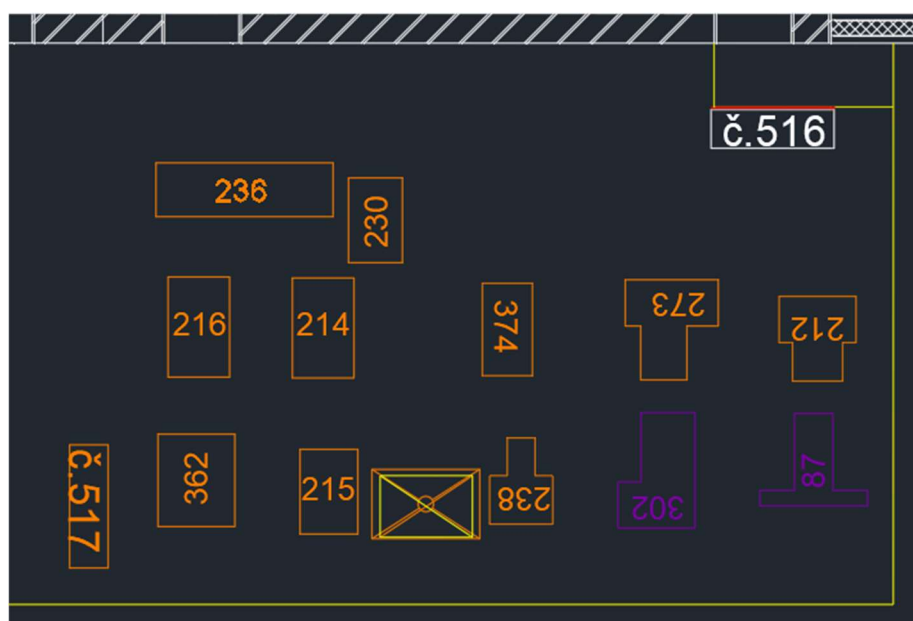
V novém poloautomatizovaném výrobním postupu by bylo zapojeno robotické rameno UR 5 od firmy Universal Robots. Navrhovaný postup je následující. Operátor založí komponenty do svařovacího přípravku na bodové svařečce a stiskem tlačítka dá signál na spuštění programu robotu. Bodová svařečka sponu svaří a robot, který bude mít na svém koncovém efektoru dva páry čelistí, ji odebere prvním párem čelistí a uloží do lisu, kde proběhne dotvarování. Poté sponu druhým párem čelistí vybere z lisu a přitlačí ji na nachystaný šroub od operátora ve šroubováku, a tím šroub zašroubuje do spony. Poté sponu odloží operátorovi na stůl. Během pracovního cyklu robotu se operátor stará o zakládání nových komponent do bodové svařečky, nanášení maziva na šroub a usazování šroubu do šroubováku.

Vytvořením výrobní buňky, ve které se bude svařovat, dotvářet a šroubovat s částečným využitím robotického ramena UR 5 docílíme významného zkrácení celkového času cyklu.

Výhodou této buňky je, že není třeba mezi jednotlivými stanovišti spony převážet, čímž samotným docílíme ušetřením času a nákladů na výrobu jednoho dílu. Při správné optimalizaci bychom tímto výrobním procesem mohli docílit takřka 100 % využitelnosti operátora, který by nemusel čekat na dokončení práce stroje a nemusel by z něj vyjímat sponu, pouze by zakládal komponenty do přípravku a hned po založení by umisťoval šroub do šroubováku. To by v praxi znamenalo, že operátor bude pracovat veškerý přidělený čas směny.

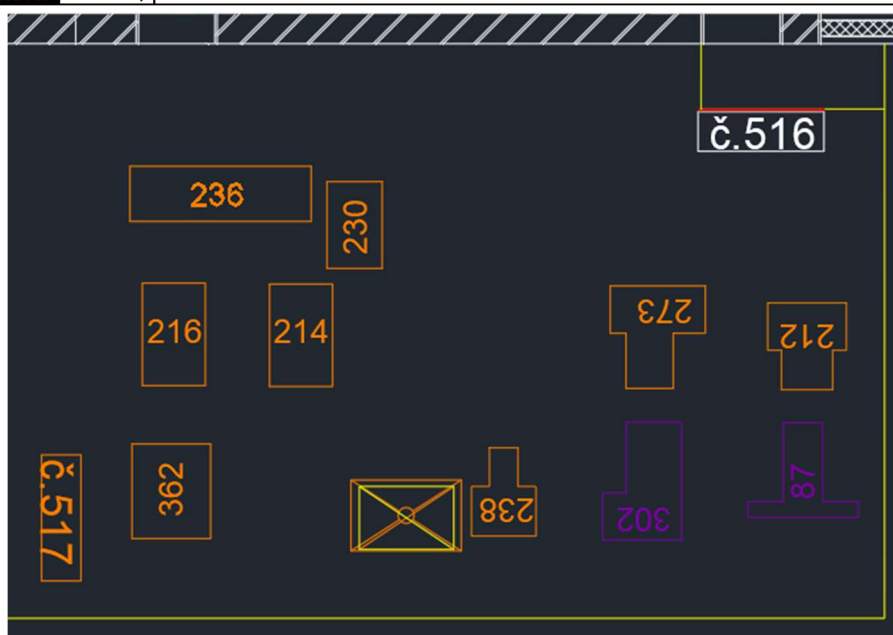
### 3.6 Návrhy layoutu nové výrobní buňky

Nová výrobní buňka bude umístěna v prostoru, kde se nachází bodové svářečky. Tento prostor můžeme vidět na obr. 23).



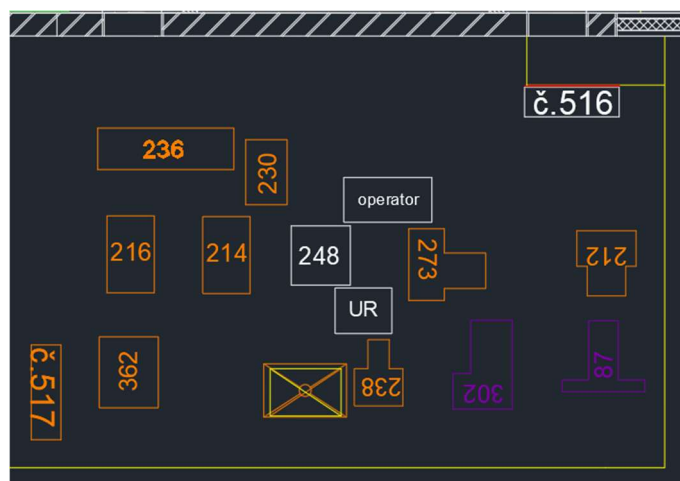
Obr. 23) Původní rozvržení prostoru bodového svařování na hale 2

Díky vypracovaným kapacitním studiím můžeme vyřadit některé stroje z výroby a tím vytvořit místo pro novou výrobní buňku. Prvními vyřazenými stroji jsou stroje číslo 374, který byl poslán na jinou výrobní pobočku, a 215, který byl uložen do skladu. Nově vytvořený prostor lze vidět na obr.

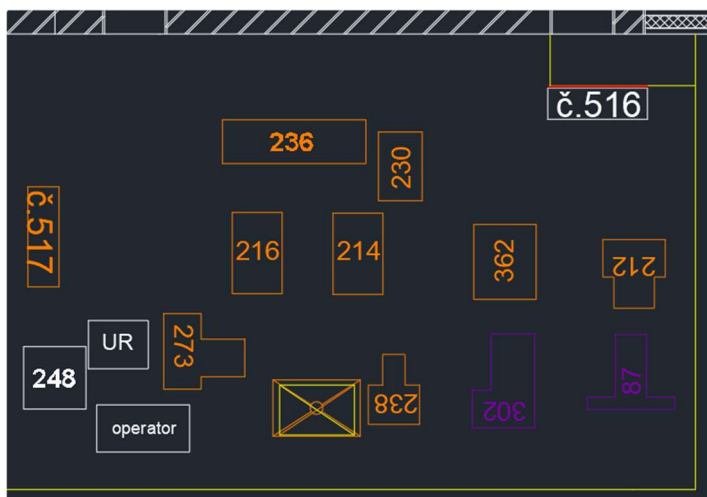


Obr. 24) Layout po odstranění bodovek číslo 374 a 215

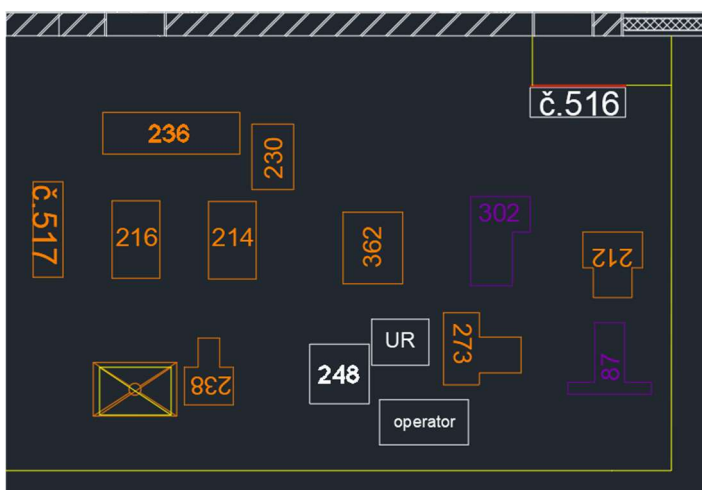
Abychom prostor využili co nejefektivněji bylo třeba zpracovat návrhy rozložení nové výrobní buňky. V potaz bylo také třeba vzít umístění rozvodů jak elektriky, tak vody, která je využívána pro chlazení elektrod. Tyto návrhy můžeme vidět na obr. 25) až 27). Stroj číslo 348 je lis, který bude využíván v nové výrobní buňce a stroj 273 je bodová svářečka, která bude využita.



Obr. 25) Umístění nové výrobní buňky – Návrh 1



Obr. 26) Umístění nové výrobní buňky – Návrh 2



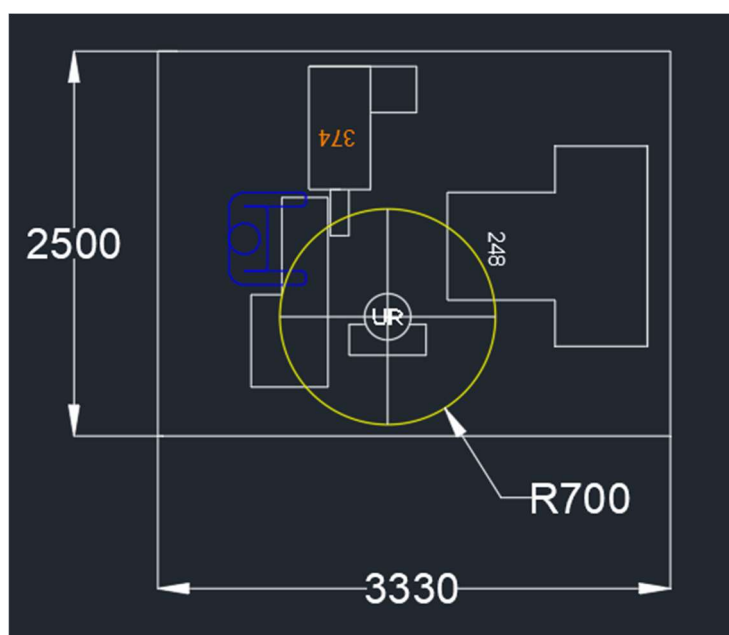
Obr. 27) Umístění nové výrobní buňky – Návrh 3

Jako nejvhodnější umístění nové výrobní buňky byl vybrán návrh 2. Tento prostor byl vybrán, jelikož je snadno dostupný pro stěhování rozměrného lisu, a také je dobře dostupný pro zásobování komponentami. Také jsou přímo u něj rozvody elektrické energie a vody, což z tohoto místa dělá nejvhodnější pozici pro novou výrobní buňku.

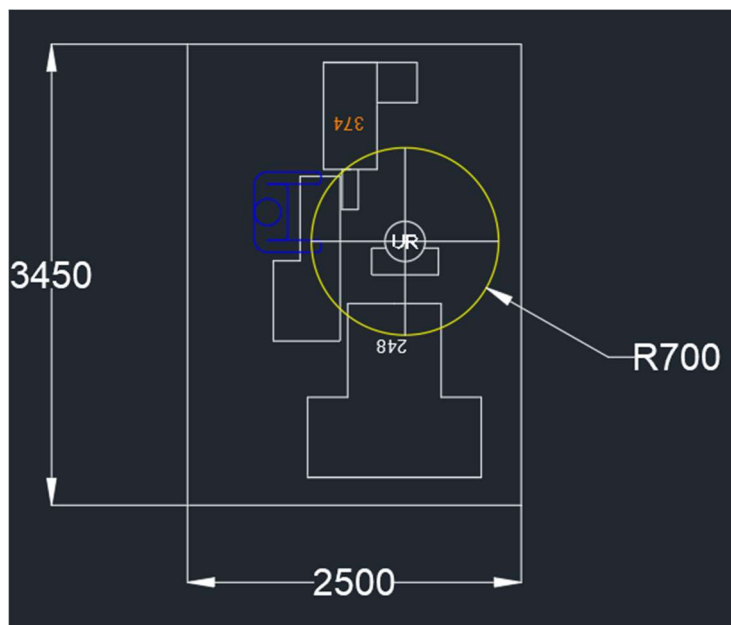
## 4 DETAILNÍ POPIS NOVÉHO SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ, VČETNĚ PRACOVNÍHO CYKLU NA POLOAUTOMATICKÉM (PŘÍPADNĚ PLNĚ AUTOMATIZOVANÉM) PRACOVISTĚ.

### 4.1 Detailní rozvržení nového pracoviště a stěhování strojů

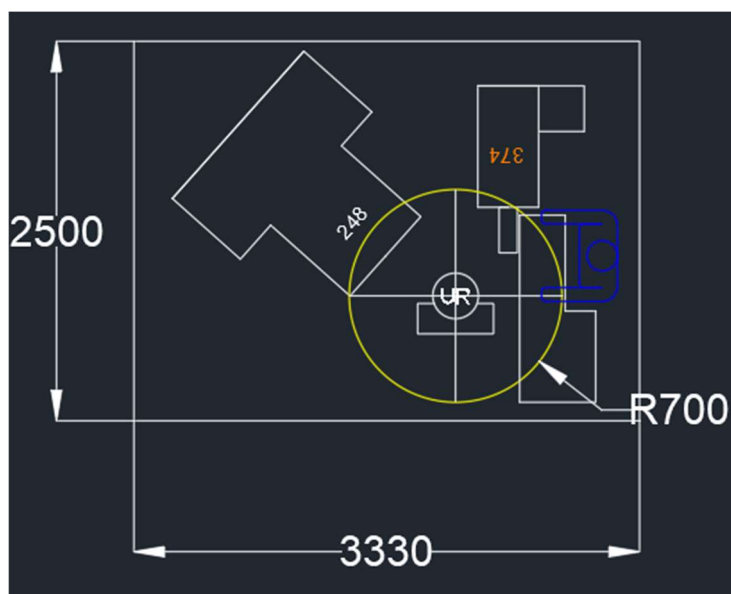
Abychom co nejlépe umístili stroje vůči sobě a tím docílili jak snadného přístupu pro seřizování, tak co nejrychlejšího pracovního cyklu a zároveň zajistili co největší úsporu prostoru, bylo třeba sestavit návrhy detailního rozložení strojů a pozice operátora. Tyto návrhy můžeme vidět níže na obr. 28) až 30).



Obr. 28) Rozložení nové výrobní buňky – Návrh 1



Obr. 29) Rozložení nové výrobní buňky – Návrh 2



Obr. 30) Rozložení nové výrobní buňky – Návrh 3

Vybrán byl návrh číslo 3. Díky tomuto rozložení docílíme dobré přístupnosti servisních skříní jednotlivých strojů, dobré přístupnosti elektrod bodové svářečky, které se musí měnit a beranu lisu. Tímto rozložení také zajistíme výhodnou pozici pro robot, díky čemuž dojde ke zkrácení pracovního cyklu.

Po zpracování a vybrání rozvržení nové výrobní buňky bylo třeba vyznačit v samotné hale rozvržení prostoru viz obr. 31) a bylo třeba zhodnotit proveditelnost rozvržení nové výrobní buňky.

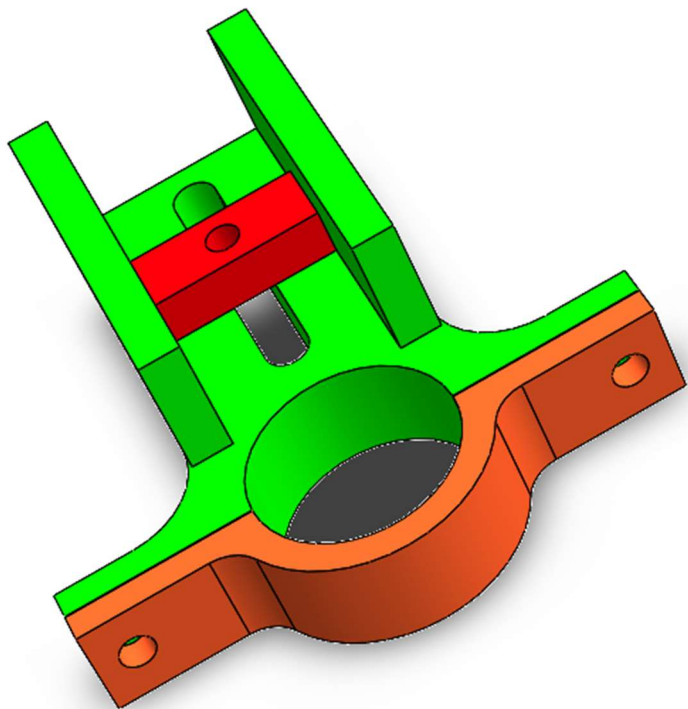


Obr. 31) Vyznačený prostor nové výrobní buňky v hale 2

Jelikož byl prostor dostatečný pro všechny potřebné úkony při výrobním procesu, bylo dále třeba přestěhovat lis a bodovou svářečku na pozici a upevnit robot na stojan, díky kterému bude ve výhodné pracovní pozici vůči operátorovi, bodové svářečce a lisu a bude moci pracovat ve vysokých rychlostech.

## 4.2 Svařovací přípravek

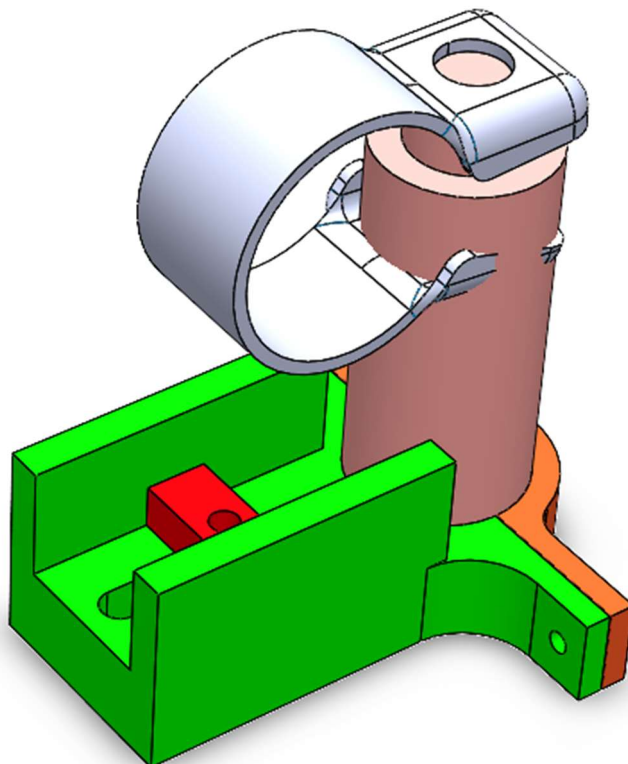
Pro zajištění správného a vždy stejného uložení komponent v bodové svářečce bylo třeba vytvořit svařovací přípravek, který zajistí správnou polohu svařence. Správná poloha je důležitá, aby robot uchopil svařenec vždy ve stejné pozici a nedošlo při zakládání do lisu k vychýlení oproti žádoucí poloze, a tím vytvoření zmetku. Do svařovacího přípravku se zakládá kus označený 1 v obr. 20). První verzi navrhnutého svařovacího přípravku můžeme vidět na obr. 32).



Obr. 32) První návrh svařovacího přípravku

Tento přípravek se skládá ze tří dílů, které jsou na obrázku rozlišeny barevně. Červený díl je pojízdný koník, jehož poloha může být vymezena dle potřeby. K zajištění potřebného pohybu při vymezování slouží drážka v zeleném dílu. Celý přípravek je poté uchycen kolem spodní elektrody bodové svářečky.

Na obr. 33) můžeme vidět schématické znázornění zakládání spony RCL do přípravku. Vzhledem k absenci 3D modelu roztočené spony, je její ukládání do přípravku a na elektrodu znázorněno pouze schematicky ve stavu stočeném. Přípravek tedy slouží jako opora, aby se spona netočila kolem osy elektrody, a aby zůstala ve stejné výšce a neoddalovala se po svaření od elektrody bodové svářečky (na obrázku 33) je elektroda znázorněna cihlovou barvou).

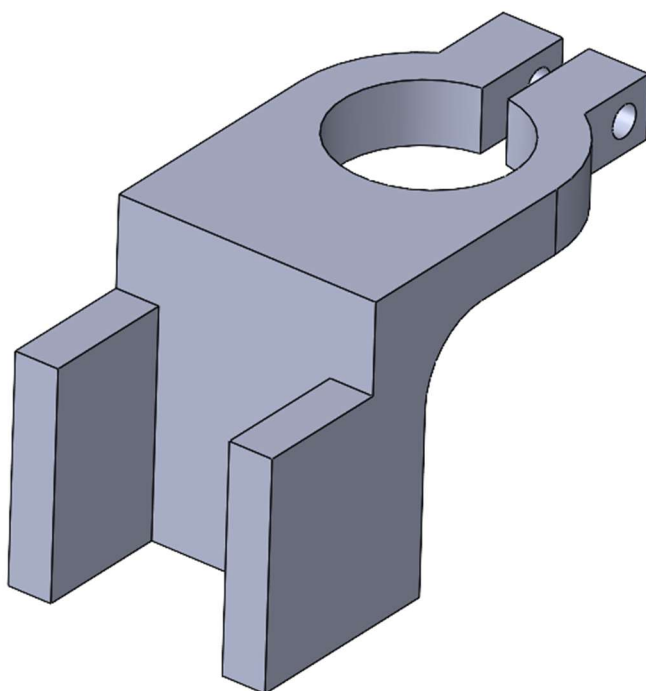


Obr. 33) Schématické založení spony

Tento přípravek byl nejdříve vytisknut na 3D tiskárně jako prototyp, aby byla ověřena jeho správná funkčnost při svařování.

Bohužel při svařování nebyla zajištěna dostatečná stabilita spony vůči elektrodě a docházelo k vychylování spon. To bylo způsobeno horní částí elektrody, která je z keramiky a je v elektrodě uložena na pružince. Tuto část můžeme vidět na obr. 22) jako modrou špičku elektrody. Na tuto modrou špičku se zakládá matice, která na ni zůstane viset a nepropadne až k samotné sponě, která naopak má dostatečný otvor a propadne až k mosazné elektrodě. Při svařování je pružinka přetlačena horní elektrodou, dojde ke spojení matice a spony a ke svaření dílů dohromady. Po odjezdu horní elektrody dojde k vytlačení špičky spodní elektrody vzhůru, ale vzhledem k tomu, že je již matice svařena se sponou, nevyjede pouze matice, ale i celá svařená spona. Kvůli tomuto docházelo k vystřelování spony z dolní úvratě špičky elektrody. Nízké stěny zeleného dílu a červený díl tak nebyly schopny sponu uložit pokaždé do stejné pozice.

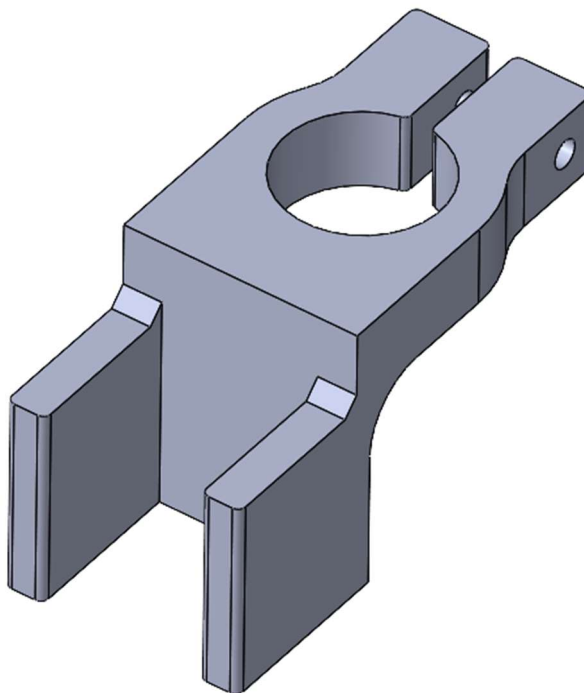
Z tohoto důvodu bylo třeba navrhnout nový, lepší svařovací přípravek, který bude schopen zajistit sto procentní stejné uložení po každém svařování. Tento přípravek můžeme vidět na obr. 34).



Obr. 34) Druhý návrh svařovacího přípravku

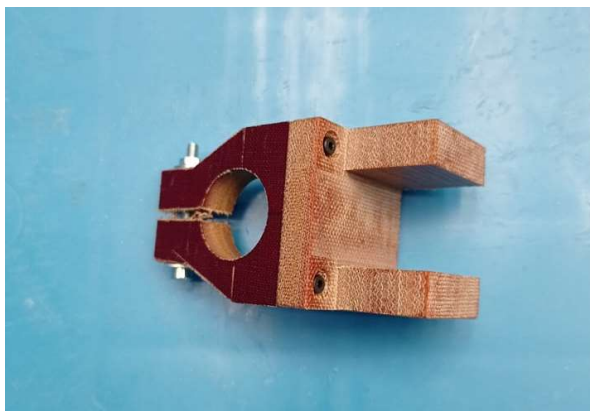
Tento přípravek byl opět vytisknut na 3D tiskárně. Při testování na malém množství kusů se osvědčil a byl schopný sponu pokaždé uložit do stejné pozice. Z tohoto důvodu byl využit pro zakládání spon ve výrobní buňce s robotickým ramenem UR (lze jej vidět na obr. 22).

Po několika tisících vyrobených kusů se u přípravku začali objevovat deformace způsobené vysokou teplotou při svařování a došlo k ulomení přípravku v oblasti děr pro šrouby. Z tohoto důvodu byla navržena další varianta se zesílením v oblasti děr pro šrouby. Tuto verzi lze vidět na obr. 35). Tento přípravek byl opět vytisknut na 3D tiskárně.



Obr. 35) Třetí návrh svařovacího přípravku

Tisk přípravku na 3D tiskárně byl zvolen, jelikož se jedná o rychlou a levnou metodu, která zajistila dostatečně funkční a odolný přípravek, který byl schopen vyrobít zhruba 100 000 kusů bez projevení značné deformace, která by ohrozila chod výroby. Tiskový materiál však začal měknout a přípravek se blížil konci své životnosti, proto bylo třeba navrhnout finální variantu z dostatečně pevného a odolného materiálu. Pro tuto finální verzi svařovacího přípravku, byl vybrán materiál pertinax, který má vysokou odolnost vůči teplotnímu namáhání a využívá se i pro jiné svařovací přípravky. Finální verzi přípravku můžeme vidět na obrázku 36).



Obr. 36) Finální verze svařovacího přípravku z materiálu pertinax

Tento přípravek byl vyroben ze dvou kusů, aby byl snadno vyrobitelný. Kusy, ze kterých se přípravek skládá, lze od sebe na obr. 36) rozlišit barevně.

### 4.3 Koncový efektor robotu

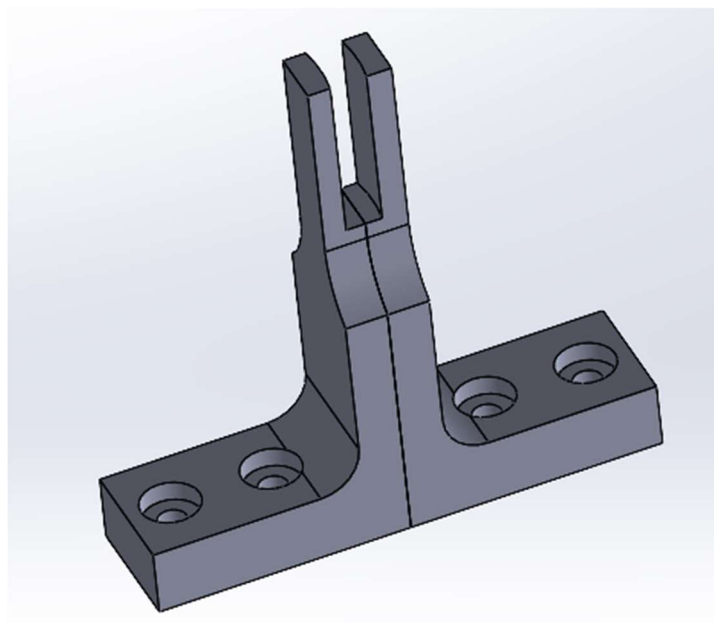
Pro správné uchopení spony a založení do lisu bylo třeba vypracovat návrhy koncového efektoru, který bude schopen pevně uchopit a založit sponu do lisu. Pro tento účel byla vybrána varianta pneumatických čelistí. Čelisti budou usazeny v pneumatickém gripperu značky Schunk. V lisu samotném není příliš prostoru pro zakládání, tudíž bylo třeba zpracovat co nejméně prostorově výrazné čelisti, které budou zároveň lehké, aby byla zajištěna maximální rychlost robotu.

#### 4.3.1 První návrh koncového efektoru

##### 4.3.1.1 Čelisti

Pro navrhnutý výrobní postup bylo třeba zpracovat návrh dvou párů čelistí. Jedny čelisti bylo třeba navrhnout tak, aby byli schopné vybírat sponu z bodové svářečky a zakládat ji do lisu a druhé tak, aby byli schopné vybírat sponu z lisu a ukládat ji, respektive zatlačit ji proti šroubu upevněném v průmyslovém vzduchem poháněném šroubováku.

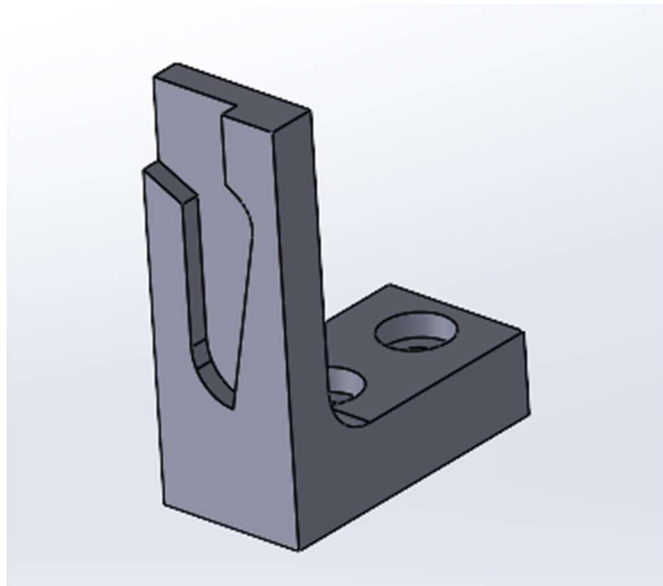
První pár čelistí, který bude sloužit k vybírání spony z bodové svářečky byl navrhnout následovně.



Obr. 37) První návrh čelistí pro vybírání spony z bodové svářečky

Čelisti mají mírně zaoblené úchopové plochy tak, že tvoří protikusy, které do sebe tvarově zapadají a kopírují tvar zaoblené části spony, za kterou bude uchopována. Na tyto plochy se nalepí polyuretan, který je pevný, pružný a otěru odolný, čímž bude zajištěna dostatečná adheze uchopení a nedojde k uvolnění spony při úchopu během manipulace. Čelisti lze vidět v příloze č. 2 a 3.

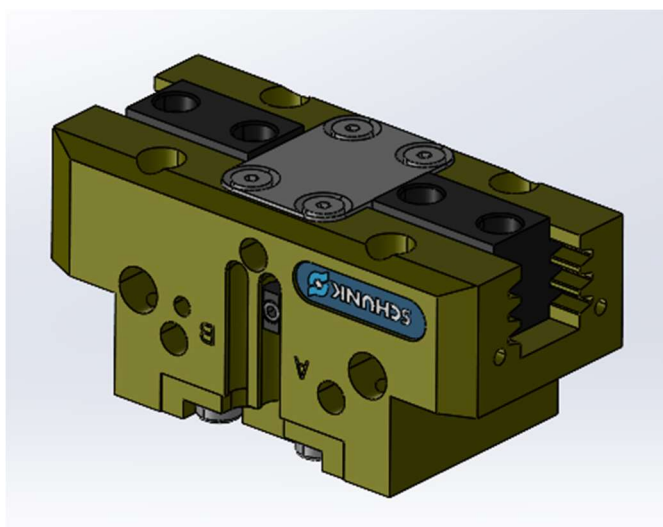
Druhý pár čelistí kopíruje boční profil konce spony, aby bylo možné sponu efektivně uchopit a vybrat z lisu. Tyto čelisti lze vidět v příloze č. 4 a 5.



Obr. 38) Čelist určená pro vybírání spony z lisu

Tyto čelisti opět tvoří protikusy, které do sebe zapadají a díky svému tvaru umožní vybírání spony tak, aby zůstal otvor pro šroub volný a bylo možné do spony zašroubovat šroub.

Čelisti byly navrženy tak, aby mohli být upevněny do pneumatického gripperu značky Schunk.

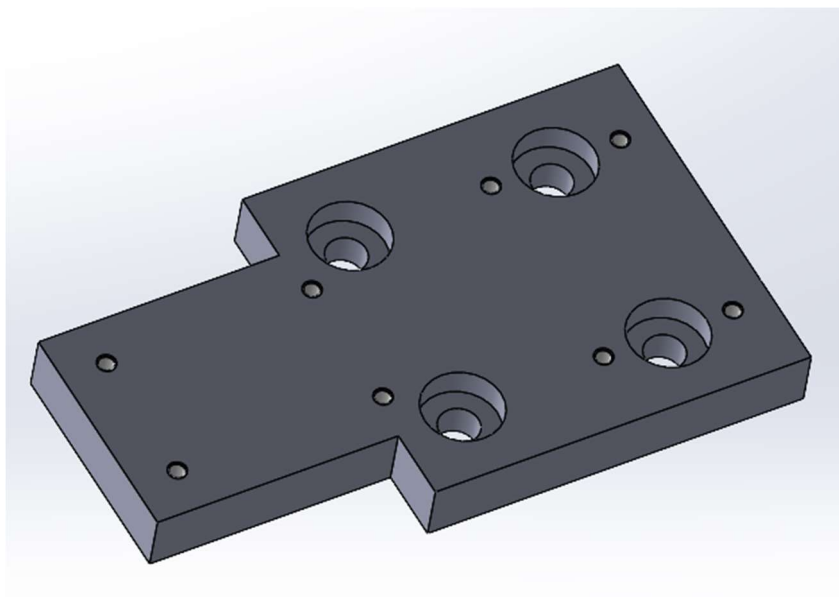


Obr. 39) Pneumatický gripper značky Schunk

#### 4.3.1.2 Příruba

Aby bylo možné připevnit gripper značky Schunk k třetímu zápěstí robotického ramena UR 5, bylo třeba nejdříve navrhnout přírubu, která se na toto robotické rameno upevní a ke které se poté přišroubují grippery. Požadavky na přírubu jsou nízká hmotnost, malé rozměry a zajištění umístění těžiště co nejvíc do středu osy otáčení zápěstí. Splněním těchto požadavků dojde k urychlení pohybů robotu a ke snížení opotřebení pohyblivých kloubů.

První návrh příruby vypadá následovně.

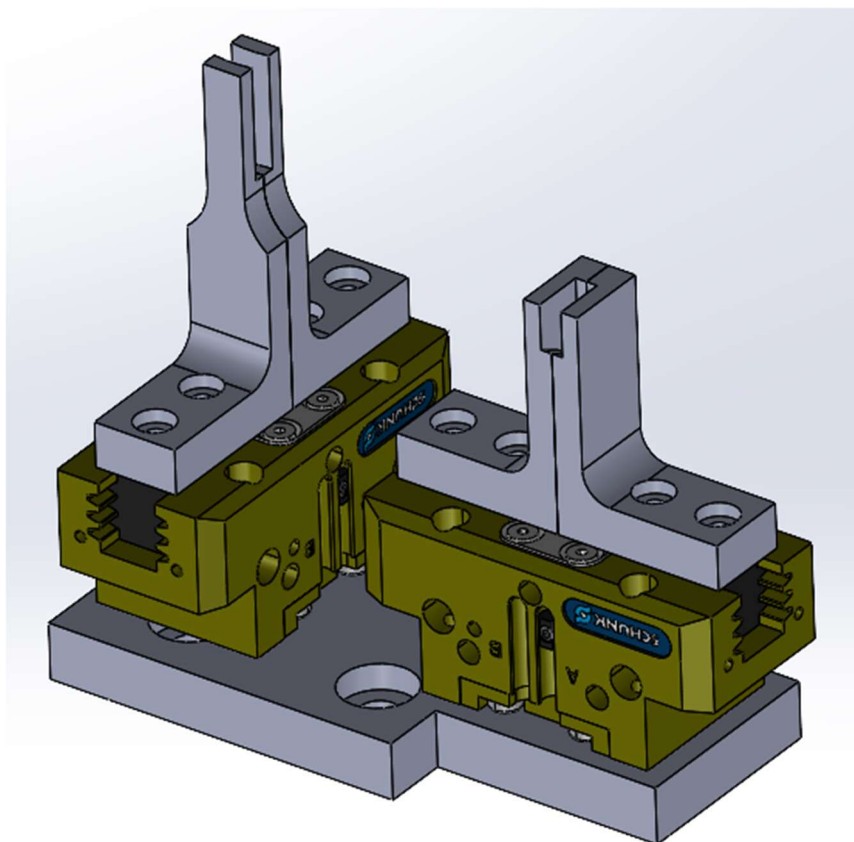


Obr. 40) První návrh příruby zápěstí robotu

Jedná se o jednoduchou desku, do které se čelisti, respektive grippery, umístí kolmo na sebe. Tento tvar a způsob umístění byl vybrán tak, aby byla zajištěna přístupnost čelistí do lisu a nedocházelo ke kolizi robotického ramena s lisem. Výkres příruby lze vidět v příloze č. 8.

#### 4.3.1.3 Sestavení prvního návrhu koncového efektoru a zhodnocení

Po sestavení všech navrhnutých součástí vypadá koncový efektor následovně.



Obr. 41) První návrh koncového efektoru

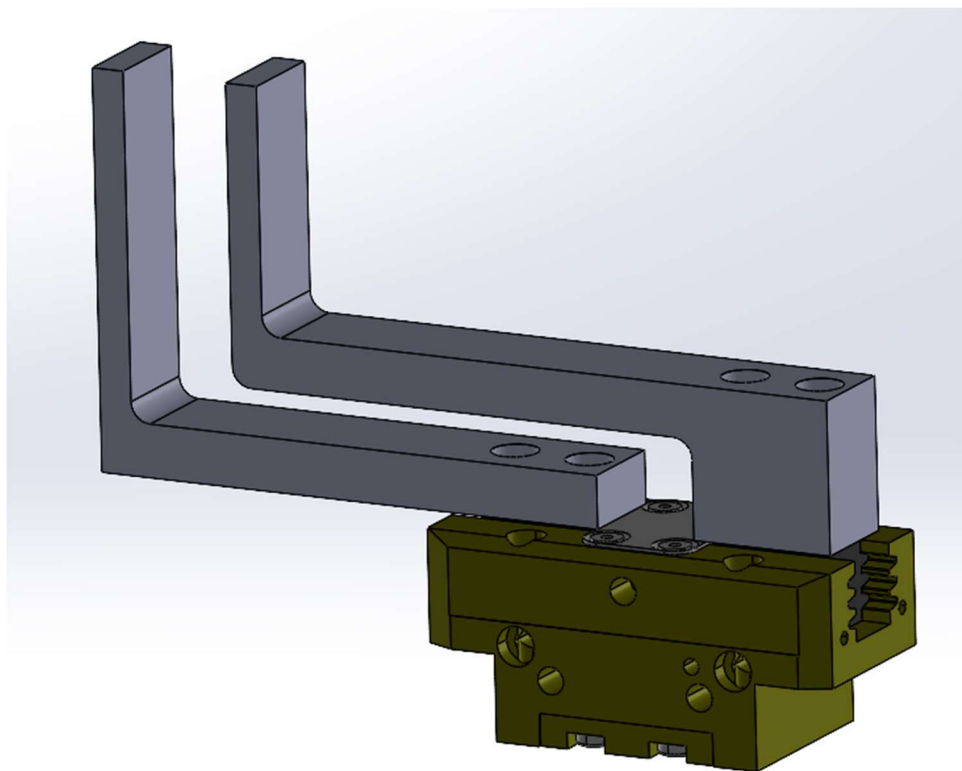
Příruba i čelisti byly vyrobeny z hliníku, aby byla zajištěna jejich co možná nejnížší hmotnost. Po vyrobení příruby a čelistí a upevnění na robot bylo zjištěno, že odsazení menších čelistí sloužících k vybírání spony z lisu je nedostatečné a docházelo tím pádem ke kolizi robotu a lisu. Velké čelisti sloužící k vybírání spony z bodové svářečky byly nicméně navrženy správně a zajišťovaly dostatečně pevný úchop pro manipulaci se sponou. Takto navrhnutý koncový efektor by příliš těžký a robot nebyl schopný dosahovat potřebných zrychlení, aniž by došlo k jeho vypnutí do nouzového režimu, který se zaktivuje při překročení limitních hranic rychlostí a sil, kterými jsou klouby namáhány. Z tohoto důvodu bylo třeba provést další návrh koncového efektoru.

#### 4.3.2 Druhý návrh koncového efektoru

Při navrhování druhé varianty koncového efektoru bylo třeba první variantu odlehčit, usadit těžiště blíže ke středu rotace zápěstí robotu a především bylo třeba vyřešit nemožnost dostání se robotu do lisu.

##### 4.3.2.1 Čelisti

První pár čelistí sloužící k vybírání spony z bodové svářečky byl tedy zachován z prvního návrhu. V druhém návrhu byly čelisti určené pro vybírání z lisu značně upraveny. Byly navrženy jako excentrické čelisti, které jsou schopny snadno dosáhnout oblastí mimo pracovní prostor robotu.

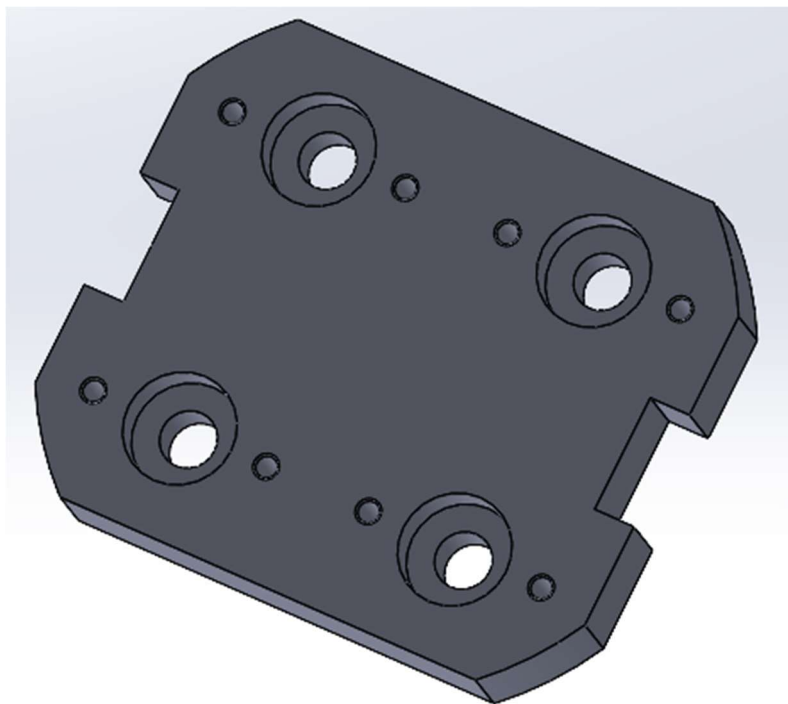


Obr. 42) Excentrické čelisti

Pomocí tohoto návrhu došlo ke snadnému dosažení čelistí do prostoru lisu aniž by došlo ke kolizi robotu a vnější konstrukce lisu. Tyto excentrické lze vidět v příloze č. 6 a 7.

#### 4.3.2.2 Příruba

Bylo třeba navrhnout novou odlehčenou a upravenou variantu příruby. Díky excentrickým čelistem bylo možné zvolit uložení gripperů rovnoběžně. Novou přírubu lze vidět na obrázku 43).

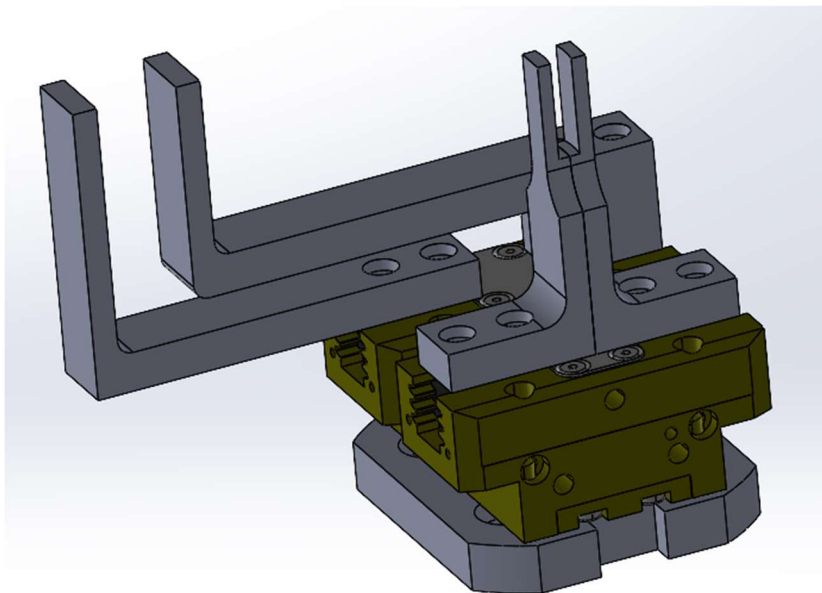


Obr. 43) Druhý návrh příruby

Aby došlo k co největšímu snížení hmotnosti příruby, byly do konstrukce přidány odlehčující vybrání a zaoblení rohů. Druhý návrh příruby lze vidět v příloze č. 9.

#### 4.3.2.3 Sestavení prvního návrhu koncového efektoru a zhodnocení

Sestavení koncového efektoru vypadá následovně.



Obr. 44) Druhý návrh koncového efektoru

Všechny součásti byly opět vyrobeny z hliníku, aby byla jejich hmotnost co nejmenší. Tento druhý návrh koncového efektoru zajistil dostatečnou přístupnost do lisu pro vybírání spony. Také došlo k odlehčení příruby a usazení těžiště koncového efektoru blíže do středu otáčení zápěstí, takže robot mohl pracovat ve vyšších rychlostech s vyšším zrychlením.

### 4.4 Finální výrobní postup

Při zkoušení proveditelnosti navrhnutého výrobního postupu bylo zjištěno, že robot není schopen dostatečnou rychlostí manipulovat se sponou a tím zajistit plynulý chod pracovního cyklu. Při navrhnutém výrobním cyklu, ve kterém se počítalo se šroubováním šroubu robotem by operátor musel na robot čekat zhruba pět sekund, což by značně snižovalo efektivitu pracoviště a využití operátora. Z tohoto důvodu bylo upuštěno od varianty šroubování robotem a tato operace byla přenechána na operátora. Nový výrobní postup je tedy zvolen následovně. Operátor vloží sponu s maticí do bodové svářečky a dá stiskem tlačítka příkaz ke svařování. Po svaření spony robot sponu odebere a uloží ji do lisu, kde dojde k dotvarování. Po dotvarování vybere sponu z lisu a odloží ji do skluzavky, po které spona sjede do prostoru operátora. Operátor během pracovního cyklu robotu uloží novou sponu a matici do bodové svářečky a následně se věnuje ručnímu šroubování šroubu do spony.

Vzhledem ke zvolenému novému výrobnímu jsou tedy navrhnuté excentrické čelisti zbytečné a nemusí být součástí koncového efektoru. Spona může být z lisu vybírána stejnými čelistmi, které ji vybírají z bodové svářečky, jelikož není třeba zajistit průchodnost otvoru pro šroub. Tím dojde k celkovému odlehčení koncového efektoru a tím k urychlení pracovního cyklu robotu a snížení celkového času cyklu.

## 4.5 Bezpečnost na pracovišti

Aby na pracovišti bylo zajištěno bezpečí operátora a dalších pracovníků, kteří se pohybují v okolí výrobní buňky, je třeba pracoviště oplotit a umístit do něj potřebné bezpečnostní prvky.

### 4.5.1 Oplocení

Oplocení prostoru můžeme vidět na obr 45) a 46).



Obr. 45) Oplocení výrobní buňky



Obr. 46) Oplocení výrobní buňky

V oplocení se nachází vstupní brána (viz obr. 46)), která je umístěna do ulice výroby, aby byl zajištěn snadný přístup pro seřizovače a nedošlo k zaskládání vchodu bednami s komponenty. Dalším otvorem v plotu je vyříznuté okno (obr. 49)), skrz které operátor zakládá kusy do bodové svářečky a okno, díky kterému je přístupné ovládání lisu (obr. 47)) i bez potřebného vstupu do samotné klece.



Obr. 47) Servisní okno lisu

#### 4.5.2 Bezpečnostní senzory a prvky

Do vstupní brány bylo třeba umístit bezpečnostní senzor (viz obr. 48)), který snímá uzavření brány. Pokud je senzor sepnutý, brána je zavřená a robot může pracovat. Pokud dojde k otevření brány, dojde k zastavení robotu a celého programu.



Obr. 48) Bezpečnostní senzor brány

Po krajích okna, skrz které operátor vkládá komponenty, je třeba umístit bezpečnostní optickou bránu, která bude hlídat pozici rukou operátora. Pokud se ruce operátora budou

nacházet v prostoru brány, program vyčká s operací svařování a nájezdem robotu k bodové svářečce, aby nedošlo ke zranění operátora. Pro zajištění dvojité bezpečnosti bylo přidáno i tlačítko (viz obr. 50)), kterým bude operátor dávat signál, že jsou úspěšně založeny komponenty do bodové svářečky, že má ruce v bezpečném prostoru, a že může začít operace svařování a samotný program robotu. Optickou bránu můžeme vidět na obrázku 49).



Obr. 49) Pracovní prostor operátora

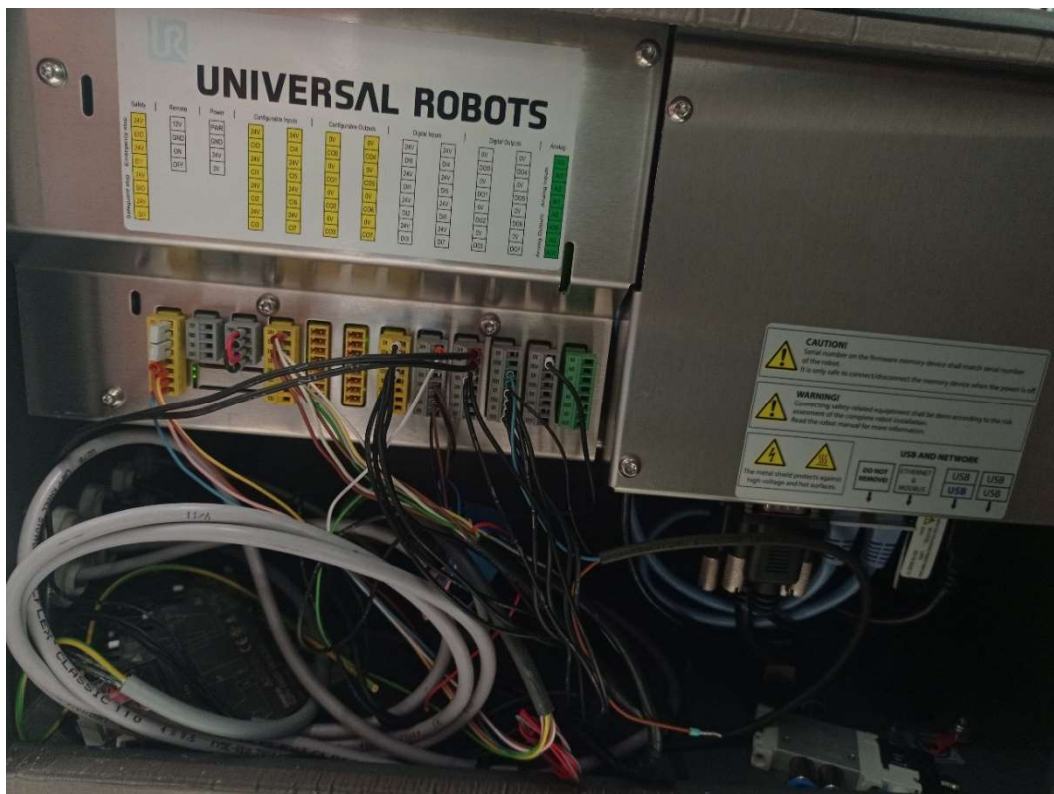
Aby nedošlo k přímému kontaktu robotu s lidským operátorem, bylo třeba vyrobit speciální skluzavku, do které bude robot odkládat svařený a dotvarovaný kus, který touto skluzavkou sjede na pracovní stůl operátora. Tuto skluzavku lze vidět na obrázku 50).



Obr. 50) Skluzavka a spouštěcí tlačítko

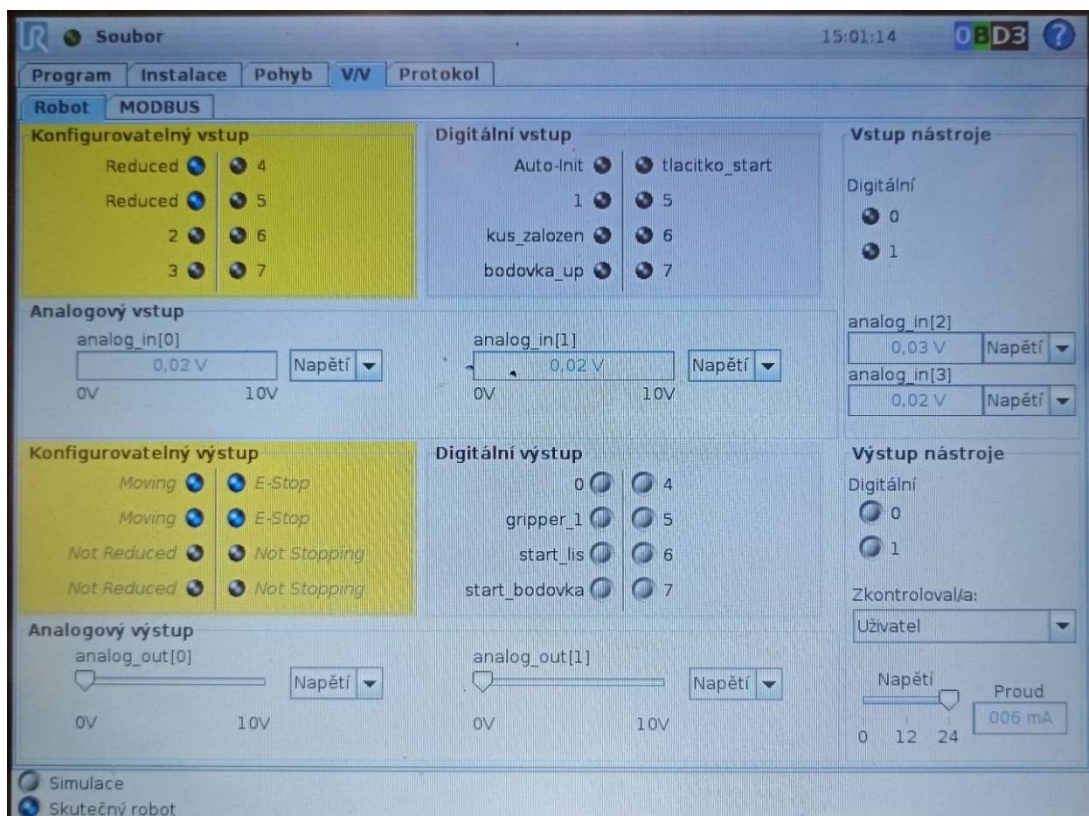
#### 4.6 Zapojení vstupů a výstupů robotu

Aby bylo možné vůbec začít s programováním samotného robotu a tím došlo k vytvoření programu, který bude ovládat stroje ve výrobní buňce, bylo třeba zapojit do ovládací skříně robotu vstupy a výstupy. Zapojení těchto vstupů a výstupů v řídicí skříně robotu můžeme vidět na obr. 51).



Obr. 51) Zapojení vstupů a výstupů v řídicí skříni robotu

S takto zapojenými vstupy a výstupy je nyní možné pracovat v teach pendantu samotného robotu. Zobrazení v teach pendantu lze vidět na obr. 52).



Obr. 52) Zobrazení zapojení vstupů a výstupů v teach pendantu

Jednotlivé vstupy a výstupy jsou zapojeny následovně:

Konfigurovatelný vstup:

- 1) Reduced – Optická brána
  - Pokud se v optické bráně nenachází překážka je signál true

Digitální vstup:

- 2) Kus\_zalozen – Indukční senzor
  - Pokud je kus řádně založen v lisu je signál true
- 3) Bodovka\_up – Indukční senzor
  - Pokud je bodová svářečka v horní úvrati je signál true
- 4) Tlacitko\_start – Spouštěcí tlačítko
  - Pokud dojde ke zmáčknutí tlačítka je signál true
- 5) Digitální vstup 5 – Vstup z bodové svářečky
  - Pokud bodová svářečka provedla svařování je signál true

Konfigurovatelný výstup:

- 6) E-Stop – Nouzové tlačítko
  - Při zmáčknutí nouzového tlačítka je signál false
- 7) Not stopping – Magnetický senzor
  - Senzor na vstupní brance do klece, při otevření branky je signál true

Digitální výstup:

- 8) Gripper\_1
  - Pokud je signál true sepne se pneumatický gripper
- 9) Start\_lis
  - Pokud je signál true dojde ke spuštění lisu
- 10) Start\_bodovka
  - Pokud je signál true dojde ke spuštění bodové svářečky

Funkce jednotlivých vstupů a výstupů v programu je následující:

- 1) Reduced – optická brána
  - Pokud je v optické bráně překážka dojde k přepnutí robotu do omezeného režimu, což znamená, že dojde ke snížení rychlostí a sil, které uvedou robot do bezpečnostního zastavení.
  - Pokud je v optické bráně překážka v některých fázích programu nedojde ke spuštění další fáze programu. Primárně jsou takto omezené fáze, ve kterých by mohlo dojít k přímému kontaktu operátora a robotického ramena.
- 2) Kus\_zalozen – Indukční čidlo
  - Jedná se o indukční čidlo uložené v lisu. Toto čidlo funguje jako kontrola správného založení spony do lisu. Pokud dojde k nesprávnému založení spony do lisu program robotu nepokračuje.

- 3) Bodovka\_up – Indukční senzor
  - Tento senzor funguje jako kontrola, že došlo k rozpojení elektrod bodové svářečky a robotické rameno může odebrat sponu. V praktickém provedení výrobní buňky není senzor využit, jelikož ho nahrazuje digitální vstup 5
- 4) Tlacitko\_start – Spouštěcí tlačítko
  - Slouží jako samotný spouštěč programu robotu, kterým dává operátor signál, že je spona řádně uložena v bodové svářečce a může dojít ke spuštění programu. Také toto tlačítko slouží jako bezpečnostní prvek, kterým dává operátor signál, že se nachází mimo operační oblast robotu.
- 5) Digitální vstup 5 – Vstup z bodové svářečky
  - Jedná se o vstup vedený přímo z bodové svářečky. Tento vstup při sepnutí dává najevo, že došlo ke spojení a rozpojení elektrod. Z tohoto důvodu nebylo nutné zapojovat indukční čidlo zmiňované v bodu 3).
- 6) E-Stop – Nouzové tlačítko
  - Červené nouzové tlačítko na teach pendantu, které při stisknutí zastaví program robotu a samotný robot.
- 7) Not stopping – Magnetický senzor
  - Senzor slouží k zastavení programu robotu pokud dojde k otevření vstupní branky do oplocení výrobní buňky.
- 8) Gripper\_1
  - Při nastavení výstupu na true dojde k sepnutí kompresoru, který sevře čelisti na pneumatickém gripperu. Při nastavení výstupu na false dojde k vypnutí kompresoru a tím otevření čelistí.
- 9) Start\_lis
  - Při nastavení výstupu na true dojde ke spuštění lisovacího procesu, který je dokončen i přesto, že dojde k nastavení signálu na false. V programu tudíž musí být nastaveno sepnutí lisu na true a následně na false, aby mohlo dojít k opětovnému sepnutí při další operaci.
- 10) Start\_bodovka
  - Při nastavení výstupu na true dojde ke spuštění bodové svářečky. V programu se defacto jedná o reakci na digitální vstup „Tlacitko\_start“.

S takto nastavenými a zapojenými vstupy a výstupy je nyní možné sestavit funkční program, který bude řídit celou výrobní buňku.

## 4.7 Program robotu

Ve výrobní buňce je využit robot UR 5 od firmy Universal Robots. Vzhledem k tomu, že se jedná o kolaborativní robot, který je určen pro snadnou spolupráci s lidskými pracovníky, je jeho programování poměrně jednoduché a intuitivní. Do programu můžeme vkládat jednoduché funkce, které řídí samotný robot, ale i funkce, které ovlivňují výstupy a tím i další prvky výrobní buňky. Mezi základní a nejvíce využívané funkce patří pohyb, bod trasy, čekat a nastavit. Pomocí těchto čtyř základních funkcí jsme schopni zpracovat takřka jakýkoliv program.

Níže na obr. 53) můžeme vidět jak vypadá samotný program robotu, který ovládá celou výrobní buňku.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> 1 Program 2   Program robota 3     Pohyb J 4       home 5       Čekat DI[5]=VYSOKÉ 6     Pohyb J 7       prubezny_bodovk 8       Nastavit start_bodovka=Vypnout 9     Pohyb J 10      pred bodovkou 11      Čekat config_in[0]= True 12    Pohyb L 13      bodovani 14      Čekat config_in[0]= True 15    Nastavit gripper_1=Zapnout 16    Čekat: 0.3 17    Pohyb L 18      odebrani_kus2 19      Bod_trasy_16 20    Pohyb J 21      Bod_trasy_1 22      Bod_trasy_2 23    Pohyb L 24      Bod_trasy_4 25      Bod_trasy_3 26    Pohyb L 27      kus_v_lisu </pre> | <pre> 27      kus_v_lisu 28      Čekat kus_zalozen=VYSOKÉ 29      Nastavit gripper_1=Vypnout 30      Čekat: 0.5 31    Pohyb L 32      Bod_trasy_2 33      Nastavit start_lis=Zapnout 34      Čekat: 0.5 35      Nastavit start_lis=Vypnout 36    Pohyb J 37      Bod_trasy_5 38    Pohyb L 39      Bod_trasy_6 40      odebrani_kusu 41      Čekat: 0.1 42      Nastavit gripper_1=Zapnout 43      Čekat: 0.1 44      Bod_trasy_6 45      Bod_trasy_7 46    Pohyb J 47      Bod_trasy_14 48      Bod_trasy_10 49      Bod_trasy_12 50      Nastavit gripper_1=Vypnout 51      a_pocitadlo=a_pocitadlo+1 52      Čekat: 0.3 53      Bod_trasy_13 54      Bod_trasy_11 </pre> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Obr. 53) Program robotu

Tento program běží souběžně s tzv. vláknem, které je nezávislé na faktickém průběhu programu a ovládá další součásti výrobní linky nezávisle na programu. Vláknem se využívá například pro ovládání dopravníků a podobných prvků. V této výrobní buňce je vlákno využito pro ovládání bodové svářečky.

|                                      |                                                                                                                                        |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre> 55 56 57 58 59 60 61 62 </pre> | <pre> Vlákno_1 Čekat tlacitko_start=VYSOKÉ Čekat config_in[0]= True Čekat: 0.5 Nastavit start_bodovka=Zapnout Čekat: 0.2 sync() </pre> |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Obr. 54) Vláknem programu

Abychom mohli začít s vytvářením programu robotu, je třeba nejdříve vytvořit vlákno, které bude ovládat spouštění bodové svářečky viz obr. 54). Vláknem tedy slouží ke spouštění bodové svářečky nezávisle na programu tzn., že i přesto, že robot nedokončí všechny kroky operace, může být pro něj již nachystaný nový svařenec v bodové svářečce.

Jednotlivé řádky vlákna viz obr. 54) mají následující funkci:

55 – Popis

56 – Vlákno čeká na přepnutí vstupu tlačítko\_start na vysoké (true), respektive na zmáčknutí spouštěcího tlačítka operátorem.

57 – Vlákno čeká na přepnutí config\_in [0] na true. Jedná se o konfigurovatelný vstup nula, tudíž o optickou bránu. Vlákno tím pádem čeká na odstranění předmětů z optické brány.

58 – Vlákno čeká 0,5 sekundy.

59 – Vlákno nastaví digitální výstup start\_bodovka na zapnout (true) a tím vyšle signál do bodové svářečky, že má začít svařovat

60 – Vlákno čeká 0,2 sekundy.

Výše popsané řádky vlákna tedy zajišťují svařování nezávisle na stavu souběžně probíhajícího programu. Při každém sepnutí spouštěcího tlačítka dojde k sevření a rozevření elektrod bodové svářečky.

S takto vytvořeným vlákem, které zajišťuje první krok v celém výrobním procesu je nyní možné začít vytvářet samotný program robotického ramena.

Jednotlivé řádky programu viz obr. 53) mají následující funkci:

1, 2 – Popis

3, 6, 9, 12, 17, 20, 23, 26, 31, 36, 38, 46 – Druh pohybu, který bude robot vykonávat v podřazených řádcích.

4, 7, 10, 13, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 32, 37, 39, 40, 44, 45, 47, 48, 49, 53, 54 – Bod, do kterého má robot najet.

5 – Program čeká na digitální vstup v požadované hodnotě.

8, 15, 29, 33, 35, 42, 50 – Program nastaví digitální výstup na požadovanou hodnotu.

11, 14 – Program čeká na nastavení funkce na požadovanou hodnotu.

16, 30, 34, 41, 43, 52 - Program čeká uvedený počet sekund.

51 – Program nastaví proměnnou na požadovanou hodnotu

V první iteraci programu, to znamená ve fázi, kdy byly pouze do programu zadány pohyby a body bez jakékoliv další úpravy rychlostí nebo polohy, byl zajištěn takt 19 sekund. Po správné optimalizaci umístění jednotlivých bodů, upravení rychlostí, nebo například přidání zaoblení průjezdu některých bodů, má výrobní buňka takt 14 sekund. Takt by bylo možné snížit i více, nicméně to již není žádoucí vzhledem k tomu, že takt 14 sekund odpovídá zhruba taktu operátora. To v praxi znamená, že robot ani operátor nemusí čekat ve výrobním procesu a výroba probíhá plynule a s takřka 100 % využitelností jak operátora, tak robotu.

## 5 VÝPOČTY PROKAZUJÍCÍ ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY

V tabulce 7) můžeme vidět požadovaný počet vyrobených kusů za rok a celkový přidělený časový fond jednoho pracovníka.

Tab 7) Roční produkce

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>Roční produkce</b> | 380000 ks |
| <b>Pracovních dnů</b> | 225       |
| <b>Pracovní doba</b>  | 7 h       |
| <b>Roční fond</b>     | 1575 h    |

V tabulce 8). můžeme vidět porovnání původního manuálního výrobního procesu a nové výrobní buňky, která využívá robotické rameno UR 5.

Tab 8) Porovnání původního výrobního procesu a nové výrobní buňky

| Původní proces                |            | Nová výrobní buňka            |            |
|-------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
|                               |            |                               |            |
| <b>Počet směn</b>             | 10         | <b>Počet směn</b>             | 10         |
| <b>Pracovní doba</b>          | 7 h        | <b>Pracovní doba</b>          | 7 h        |
| <b>Týdenní fond</b>           | 70 h       | <b>Týdenní fond</b>           | 70 h       |
| <b>Výstup</b>                 | 131 ks/h   | <b>Výstup</b>                 | 257 ks/h   |
| <b>Takt</b>                   | 27,5 s/ks  | <b>Takt</b>                   | 14 s/ks    |
| <b>Týdně</b>                  | 9180 ks    | <b>Týdně</b>                  | 18000 ks   |
| <b>Pokrytí roční produkce</b> | 2898 h/os. | <b>Pokrytí roční produkce</b> | 1478 h/os. |
|                               |            | <b>Úspora</b>                 | 1420 h/os. |

Pokud v tabulce 6) sečteme časy jednotlivých manuálních cyklů, dostaneme tzv. takt, neboli čas, za který dojde k vyrobení jedné součásti. V tomto případě počítáme takt pro jednoho pracovníka. Důležité je zmínit, že do tohoto času není započítaný čas přepravy mezi jednotlivými stanovišti, tudíž se celkový čas cyklu zvyšuje.

Takt původního manuálního procesu je tedy 27,5 s/ks což týdně znamená výrobu 9180 ks jedním pracovníkem. Jeden pracovník by požadované množství 380000 ks vyráběl 2898 hodin. Vyrobení 380000 ks by tedy vzhledem k ročnímu fondu 1575 hodin s využitím jednoho pracovníka nebylo možné. Výrobu musí pokrýt minimálně dva pracovníci.

Takt nového poloautomatizovaného pracoviště je 14 s/ks. Díky tomuto je jeden pracovník schopen vyrobit 18000 ks týdně. Roční požadované množství 380000 ks by tedy vyrobil za 1478 hodin. Z výpočtů vidíme, že oproti původnímu manuálnímu procesu je jeden pracovník schopen pokrýt roční výrobu. Časová úspora je tedy 1420 hodin.

Díky uspoření času 1420 hodin ročně dojde ke zvýšení produkce kusů na jednoho pracovníka (PPH) o 96 %.

## 6 VYČÍSLENÍ EKONOMICKÝCH ÚSPOR

V tabulce 9) můžeme vidět výdaje spojené s výrobou spon jak na původním, tak na novém pracovišti.

Tab 9) Vyčíslení ekonomických úspor

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| <b>Roční produkce</b>   | 380000 ks |
| <b>Měsíční produkce</b> | 31667 ks  |

| <b>Původní pracoviště</b> | <b>ks/h</b> | <b>Hodin měsíčně</b> | <b>Hodinová sazba</b> | <b>Měsíční výdaje</b> |
|---------------------------|-------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Svařování                 | 557         | 57 h                 | 351 Kč                | 19 955 Kč             |
| Dotváření                 | 570         | 56 h                 | 351 Kč                | 19 500 Kč             |
| Šroubování                | 245         | 129 h                | 300 Kč                | 38 776 Kč             |
|                           |             |                      |                       |                       |
|                           |             |                      | <b>Celkové výdaje</b> | <b>78 231 Kč</b>      |
|                           |             |                      |                       |                       |
| <b>Výrobní buňka</b>      | 257         | 123 h                | 351 Kč                | <b>43 249 Kč</b>      |
|                           |             |                      |                       |                       |
|                           |             |                      | <b>Měsíční úspora</b> | <b>34 982 Kč</b>      |
|                           |             |                      | <b>Roční úspora</b>   | <b>419 779 Kč</b>     |

V původním manuálním pracovišti činily celkové výdaje na měsíční výrobu 31667 kusů spon 78231 Kč. V novém poloautomatizovaném pracovišti je měsíční náklad 43249 Kč. Měsíční úspora nákladů je tedy 34982 Kč a roční úspora je 419779 Kč. Náklady na výrobní proces byly sníženy o 44,7 %.

## 7 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH CÍLŮ

V teoretické části bakalářské práce byly sepsány základní informace o problematice upínání svařenců, jejich manipulace a svařování. Zásadními byly informace o upínání svařenců do svařovacích přípravků, které byly poté využity v praktické části práce při navrhování svařovacího přípravku výrobní buňky pracoviště bodového svařování.

Pro automatizaci byla vybrána nejvíce svařovaná součást ve výrobních halách firmy Norma Czech. Svařování této součásti tvoří 61,4 % všech prováděných svařování. Ve finální verzi nového výrobního postupu došlo ke změně oproti původnímu návrhu. Šroubování šroubu do spony, které měl původně provádět robot bylo přenecháno na lidského pracovníka a to z důvodu optimalizace taktu. Díky tomuto kroku je využitelnost operátora ve výrobní buňce téměř 100 %.

Rozložení výrobní buňky bylo zhodnoceno ve třech návrzích. Z nich byl vybrán ten, který nejvíce vyhovoval nabízenému prostoru ve výrobní hale, který byl nejvíce prostorově úsporný, a který zajišťoval nejkratší vzdálenosti jednotlivých bodů, které musí robotické rameno UR 5 projet, což v praxi znamená nejnížší možnou dobu taktu. Výrobní buňka byla tedy vypracována tak, aby ušetřila místo ve výrobní hale a zároveň zajišťovala nejvyšší možnou produkci.

K automatizaci byla vybrána součást, která ve svém výrobním procesu nevyžaduje žádné speciální a náročné úkony. Jedná se defacto pouze o tři jednoduché kroky, svaření, dotvarování a šroubování. Díky tomuto takřka nedochází k vyrobení zmetku, tudíž není relevantní hodnotit zlepšení zmetkovitosti. Důležité je zmínit pouze to, že nedošlo k jejímu zhoršení.

Nové pracoviště s využitím robotického ramena UR 5 tedy snížilo takt z 27,45 sekund na 14 sekund na součást. Díky tomuto je roční výrobu 380000 ks schopen pokrýt pouze jeden pracovník. Ve starém výrobním procesu bylo třeba dvou pracovníků, kteří museli dohromady pracovat 2898 h ročně, aby byli schopni pokrýt roční výrobu. Čas potřebný na výrobu požadovaného množství je v nové výrobní buňce 1478 h z celkových poskytnutých 1575 h ročně jednoho pracovníka. Hodinová úspora ročně je tedy 1420 hodin, což činí finanční úsporu v nákladech na zaměstnance 419779 Kč ročně.

## 8 ZÁVĚR

Díky této bakalářské práci jsem si mohl vyzkoušet řešení komplexního problému od jeho začátku, přes návrhy, koncepty až samotnou realizaci a implementaci v praktickém provedení v nadnárodní firmě. Primárně jsem se pro toto téma rozhodl kvůli samotné části o robotizaci, o kterou se zajímám a které se chci dále věnovat. Mimo samotné programování robotu jsem se však musel vypořádat s řadou dalších problémů z různých oblastí, například s konstruktérskými problémy při navrhování jednotlivých částí koncového efektoru robotu. Tato samotná zkušenost mi nabídla možnost vhlédnout do praxe, kde jsem byl blíže seznámen s fungováním postupů ve firmě a ve výrobní hale samotné. Výsledkem mé bakalářské práce je funkční poloautomatické pracoviště bodového svařování, ve kterém spolupracuje operátor s kolaborativním robotem od firmy Universal Robots.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Svařování* [online]. In: . [cit. 2021-12-25]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT\\_01\\_Prehled\\_svarovani\\_T08.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf)
- [2] *Svařenec velkých rozměrů* [online]. In: . [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.strojirabenc.cz/vyroba-svarencu>
- [3] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. 1. vydání. Česká Třebová: DOM-ZO 13, s.r.o., 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [4] *Svařovací přípravek na svařování dílů v těžkém průmyslu* [online]. In: . [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://psku.cz/reference.html#lg=gallery5&slide=2>
- [5] *Modulární svařovací stůl* [online]. In: . [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://carver-clamps.com/welding-products/welding-tables/welding-table/>
- [6] *Souběžné svařování* [online]. In: . [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/news-resources/articles/13-steps-to-better-arc-welding-robot-maintenance>
- [7] *TechPark: Manipulátor* [online]. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <http://www.techpark.sk/technika-9102014/air-liquide-welding-reseni-pro-automatizaci-ve-svarovani.html>
- [8] *Demmeler polohovadla* [online]. [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.demmeler.com/cs/vyrobky-a-obchod/manipulatory?%3Bcount=100&wek=39507&cHash=5c243d83c70ff1d208c027acee93a7bb>
- [9] *Kskct: Kladkové polohovadlo* [online]. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.kskct.cz/cs/polohovadla/kladkova-polohovadla/pk-20>
- [10] *HBTweld: Stolové polohovadlo* [online]. [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://hbtweld.cz/produkty/polohovadlo-wp-100-400/>
- [11] *Thefabricator* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/automation-energizes-structural-steel-fab-operation>
- [12] *Technomont* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.technomont.cz/svarovani-g5/>
- [13] *BAHR* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: [http://bahr.kahstudio.cz/met\\_polohy.php](http://bahr.kahstudio.cz/met_polohy.php)
- [14] *Fronius* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/svaovn-tig>

- [15] *HBTweld: svařovací automat* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/produkty/svarovaci-automat-kmk-412-2/>
- [16] *Fabricatingmetalworking* [online]. In: . [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/05/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/>

# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 10.1 Seznam tabulek

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| TAB 1) OEE JEDNOTLIVÝCH STROJŮ.....                                       | 32 |
| TAB 2) VYUŽITELNOSTI JEDNOTLIVÝCH STROJŮ.....                             | 33 |
| TAB 3) VÝKONY JEDNOTLIVÝCH STROJŮ BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ....                  | 34 |
| TAB 4) TEORETICKÉ VYUŽITELNOSTI STROJŮ PŘI SLOUČENÉ VÝROBĚ<br>.....       | 34 |
| TAB 5) TAB. TOP 10 VYRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ (HIGHRUNNERŮ) .....                | 35 |
| TAB 6) PRŮMĚRNÉ ČASY CYKLU JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ PŘI<br>VÝROBĚ SPONY ..... | 37 |
| TAB 7) ROČNÍ PRODUKCE .....                                               | 65 |
| TAB 8) POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO VÝROBNÍHO PROCESU A NOVÉ<br>VÝROBNÍ BUŇKY..... | 65 |
| TAB 9) VYČÍSLENÍ EKONOMICKÝCH ÚSPOR .....                                 | 66 |

## 10.2 Seznam obrázků

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| OBR. 1) SVAŘENEC VELKÝCH ROZMĚRŮ [2] .....                                  | 17 |
| OBR. 2) SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK NA SVAŘOVÁNÍ DÍLŮ V TĚŽKÉM<br>PRŮMYSLU [4]..... | 18 |
| OBR. 3) MODULÁRNÍ SVAŘOVACÍ STŮL [5] .....                                  | 19 |
| OBR. 4) SOUBĚŽNÉ SVAŘOVÁNÍ [6].....                                         | 20 |
| OBR. 5) MANIPULÁTOR S KLADKOVÝM POLOHOVADLEM [7] .....                      | 20 |
| OBR. 6) POLOHOVADLO [8].....                                                | 21 |
| OBR. 7) KLADKOVÉ POLOHOVADLO [9] .....                                      | 22 |
| OBR. 8) STOLOVÉ POLOHOVADLO [10] .....                                      | 23 |
| OBR. 9) ČEPOVÉ POLOHOVADLO [11].....                                        | 24 |
| OBR. 10) ČEPOVÉ POLOHOVADLO SE SNÍŽENOU DESKOU [11].....                    | 24 |
| OBR. 11) SVAŘOVACÍ TRAKTOR [12].....                                        | 25 |
| OBR. 12) SVAŘOVACÍ POLOHY [13] .....                                        | 25 |
| OBR. 13) ORBITÁLNÍ SVAŘOVÁNÍ [14].....                                      | 26 |
| OBR. 14) SVAŘOVACÍ AUTOMAT [15].....                                        | 27 |
| OBR. 15) ODDĚLENÝ PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTU A OPERÁTORA<br>[16] .....         | 28 |
| OBR. 16) BODOVÁ SVÁŘEČKA FIRMY OD DALEX WERKE.....                          | 29 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| OBR. 17) BODOVÁ SVÁŘEČKA OD FIRMY ARO .....                                | 30 |
| OBR. 18) SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK NAPEVNO SPOJENÝ SE STROJEM .....              | 30 |
| OBR. 19) SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK PRO SLOŽITĚJŠÍ SVAŘENCE.....                  | 31 |
| OBR. 20) VÝROBNÍ PROCES SPONY RCL .....                                    | 35 |
| OBR. 21) LAYOUT MANUÁLNÍHO PRACOVISTĚ .....                                | 36 |
| OBR. 22) ELEKTRODY BODOVÉ SVÁŘEČKY PRO SVAŘOVÁNÍ SPONY RCL<br>.....        | 36 |
| OBR. 23) PŮVODNÍ ROZVRŽENÍ PROSTORU BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ NA<br>HALE 2 .....  | 38 |
| OBR. 24) LAYOUT PO ODSTRANĚNÍ BODOVEK ČÍSLO 374 A 215 .....                | 39 |
| OBR. 25) UMÍSTĚNÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 1.....                        | 39 |
| OBR. 26) UMÍSTĚNÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 2.....                        | 40 |
| OBR. 27) UMÍSTĚNÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 3.....                        | 40 |
| OBR. 28) ROZLOŽENÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 1.....                       | 41 |
| OBR. 29) ROZLOŽENÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 2.....                       | 42 |
| OBR. 30) ROZLOŽENÍ NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY – NÁVRH 3.....                       | 42 |
| OBR. 31) VYZNAČENÝ PROSTOR NOVÉ VÝROBNÍ BUŇKY V HALE 2 .....               | 43 |
| OBR. 32) PRVNÍ NÁVRH SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU.....                            | 44 |
| OBR. 33) SCHÉMATICKÉ ZALOŽENÍ SPONY .....                                  | 45 |
| OBR. 34) DRUHÝ NÁVRH SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU.....                            | 46 |
| OBR. 35) TŘETÍ NÁVRH SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU .....                           | 47 |
| OBR. 36) FINÁLNÍ VERZE SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU Z MATERIÁLU<br>PERTINAX.....  | 47 |
| OBR. 37) PRVNÍ NÁVRH ČELISTÍ PRO VYBÍRÁNÍ SPONY Z BODOVÉ<br>SVÁŘEČKY ..... | 48 |
| OBR. 38) ČELIST URČENÁ PRO VYBÍRÁNÍ SPONY Z LISU .....                     | 49 |
| OBR. 39) PNEUMATICKÝ GRIPPER ZNAČKY SCHUNK .....                           | 49 |
| OBR. 40) PRVNÍ NÁVRH PŘÍRUBY ZÁPĚSTÍ ROBOTU .....                          | 50 |
| OBR. 41) PRVNÍ NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU.....                               | 51 |
| OBR. 42) EXCENTRICKÉ ČELISTI .....                                         | 52 |
| OBR. 43) DRUHÝ NÁVRH PŘÍRUBY .....                                         | 53 |
| OBR. 44) DRUHÝ NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU.....                               | 54 |
| OBR. 45) OPLOCENÍ VÝROBNÍ BUŇKY.....                                       | 55 |
| OBR. 46) OPLOCENÍ VÝROBNÍ BUŇKY.....                                       | 56 |
| OBR. 47) SERVISNÍ OKNO LISU .....                                          | 57 |
| OBR. 48) BEZPEČNOSTNÍ SENZOR BRÁNY .....                                   | 57 |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>OBR. 49) PRACOVNÍ PROSTOR OPERÁTORA .....</b>                               | <b>58</b> |
| <b>OBR. 50) SKLUZAVKA A SPOUŠTĚCÍ TLAČÍTKO .....</b>                           | <b>59</b> |
| <b>OBR. 51) ZAPOJENÍ VSTUPŮ A VÝSTUPŮ V ŘÍDÍCÍ SKŘÍNI ROBOTU .....</b>         | <b>60</b> |
| <b>OBR. 52) ZOBRAZENÍ ZAPOJENÍ VSTUPŮ A VÝSTUPŮ V TEACH<br/>PENDANTU .....</b> | <b>60</b> |
| <b>OBR. 53) PROGRAM ROBOTU .....</b>                                           | <b>63</b> |
| <b>OBR. 54) VLÁKNO PROGRAMU .....</b>                                          | <b>63</b> |

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Výkres spony RCL – výkres č. 0410 8173 024

Příloha č. 2 - Výkres 1. čelisti pro vybírání z bodové svářečky – výkres č. celist111

Příloha č. 3 - Výkres 2. čelisti pro vybírání z bodové svářečky – výkres č. celist12

Příloha č. 4 - Výkres 1. čelisti pro vybírání z lisu – výkres č. celist21

Příloha č. 5 - Výkres 2. čelisti pro vybírání z lisu – výkres č. celist22

Příloha č. 6 - Výkres 1. excentrické čelisti – výkres č. celist211

Příloha č. 7 - Výkres 2. excentrické čelisti – výkres č. celist221

Příloha č. 8 - Výkres prvního návrhu příruby – výkres č. priruba

Příloha č. 9 - Výkres druhého návrhu příruby – výkres č. priruba02

## PŘÍLOHY