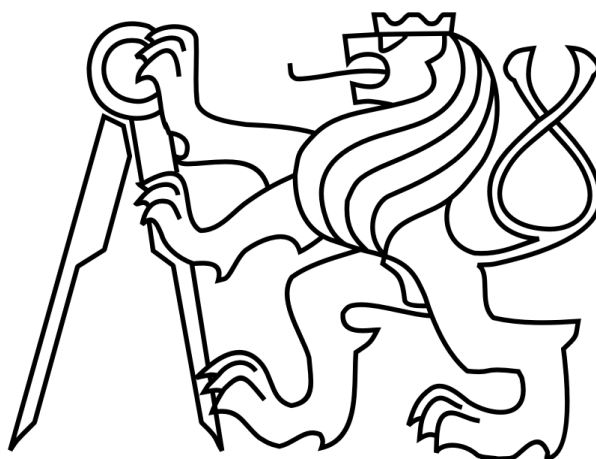


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

**Návrh robotického pracoviště a vzorového přípravku pro svařování
tenkostěnných dílců OS**

Bc. Petr Bělka

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bělka** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **482426**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Robotika a výrobní technika**
Specializace: **Výrobní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh robotického pracoviště a vzorového přípravku pro svařování tenkostěnných dílců OS

Název diplomové práce anglicky:

Design of a robotic workplace and sample fixture for welding thin-walled parts of OS

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: V rámci zlepšování hospodárnosti stavby OS je třeba řešit automatizaci řady výrobních operací v procesu výroby OS. Stavba OS obsahuje velké množství tenkostěnných svařovaných dílců. Současně se stroje a i jejich dílce v prostředí ČR řeší v malých dávkách nebo kusově. Cílem práce je návrh robotického pracoviště a vzorového přípravku pro svařování tenkostěnných dílců z plechu stavby OS; Osnova práce: - Rešerše svařovacích přípravků a jejich příslušenství, rešerše uspořádání robotických svařovacích pracovišť, - Výběr a popis svařovaných tenkostěnných dílců v OS z plechu s max hmotností do 1000 kg a s uhlopříčnou délkou max. 2200 mm včetně přípravku; - Návrh upínání, včetně rešerše konstrukčních prvků; - Konstrukce jednoho přípravku s uhlopříčnou velikostí 2200 mm pro dílec z plechu o tloušťce 3 mm, návrh svařovacího pracoviště s ověřením možnosti svařování v krajních polohách dílce. ; Rozsah textové části: 60-80 stran; Rozsah grafické části: Výkresová dokumentace svařovacího přípravku; Další výstupy: návrh svařovacího pracoviště se simulací svařování.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Smolík, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

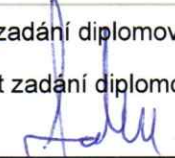
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Ivan Diviš ústav výrobních strojů a zařízení FS

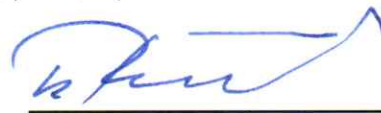
Datum zadání diplomové práce: **14.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **24.09.2023**

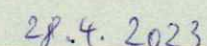

Ing. Jan Smolík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.


28.4.2023
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 24.7.2023


.....
podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce, Ing. Janu Smolíkovi, Ph.D., za vedení mé práce a Ing. Ivanu Divišovi za konzultace, ochotu a cenné rady během tvorby práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vojtěchu Votrubovi za seznámení s programem RobotStudio a Ing. Alešovi Šimůnkovi za pomoc a rady ohledně MKP.

Anotace

Autor:	Petr Bělka
Název DP:	Návrh robotického pracoviště a vzorového přípravku pro svařování tenkostěnných dílců OS
Rozsah práce:	138 str., 150 obr., 7 tab.
Školní rok vyhotoveni:	2023
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Ivan Diviš
Zadavatel:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Využití:	Svařování tenkostěnných dílců obráběcích strojů
Klíčová slova:	Tenkostěnné/plechové dílce, obráběcí stroje, svařovací přípravky, upínky, polohovadla, robotické svařování, svařování tenkých plechů
Anotace:	Diplomová práce se zabývá návrhem robotického pracoviště a vzorového přípravku pro svařování tenkostěnných dílců OS. Na základě zadaných maximálních parametrů dílců/přípravků je navrženo vhodné polohovadlo. Dále je vybrán modelový plechový dílec, k němuž je navržen vzorový svařovací přípravek. Pro daný dílec je otestována dosahovaná přesnost během svařovací operace zahrnující odchylky vlivem zatížení polohovadla, zatížení samotného přípravku a vlivem výrobcem daných nepřesností použitých nakupovaných polohovacích jednotek. Předpokládá se malosériová/kusová výroba dílců OS. Cílem je navrhnout celý přípravek i části polohovadla jako stavebnicové svařované konstrukce z plechů, z důvodu výrobní jednoduchosti a nízké ceny.

Annotation

Author:	Petr Bělka
Title of diploma dissertation:	Design of a robotic workplace and sample fixture for welding thin-walled parts of OS
Extent:	138 p., 150 fig., 7 tab.
Academic year:	2023
University:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jan Smolík, Ph.D.
Consultant:	Ing. Ivan Diviš
Submitter of the Theme:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Welding of thin-walled parts of machine tools
Key words:	Thin-walled/sheet metal parts, machine tools, welding fixtures, clamps, positioners, robotic welding, thin sheet welding
Annotation:	<p>The diploma thesis deals with the design of a robotic workplace and a sample fixture for welding thin-walled parts of machine tools. A suitable positioner is designed based on the specified maximum parameters of the parts/fixtures. Next, a sample sheet metal part is selected, for which a sample welding fixture is designed. For this part, the accuracy achieved during the welding operation is tested, including deviations due to the load of the positioner, the load of the fixture itself and the deviations of the purchased positioning units given by the manufacturer. Small series/piece production of parts of machine tools is assumed. The goal is to design the entire fixture and parts of the positioner as a modular welded construction made of sheet metal, because of the simplicity of production and low price.</p>

Obsah

Obsah	7
Přehled použitých veličin a jednotek	10
1 Úvod.....	13
2 Cíle práce	15
3 Svařovací přípravky	15
3.1 Rozdělení svařovacích přípravků	18
3.1.1 Stavebnicové přípravky.....	19
3.1.2 Jednoúčelové přípravky	20
3.2 Příslušenství k přípravkům.....	21
3.2.1 Svěrky	22
3.2.2 Upínky.....	24
3.2.3 Dorazové prostředky	31
4 Robotická svařovací pracoviště	33
4.1 Rozdělení robotických svařovacích pracovišť podle kinematiky	33
4.1.1 Svařovací robot a stůl/polohovací manipulátor	34
4.1.2 Svařovací robot a dvojnásobný manipulátor.....	39
4.1.3 Polohovací manipulátor a posuvný robot	42
4.1.4 Svařovací robot a lineární manipulátor	43
4.1.5 Stabilní svařovací automat a polohovací robot.....	44
4.1.6 Další typy polohovadel	45
4.2 Bezpečnostní prvky svařovacích pracovišť	47
4.2.1 Normy a předpisy	47
4.2.2 Ochranná zařízení	48

5	Výběr modelového dílce a koncepce pracoviště	54
5.1	Typy plechových dílců	54
5.2	Svařování tenkostěnných dílců	57
5.3	Volba dílce a vhodné koncepce pracoviště	61
6	Návrh svařovacího přípravku	70
6.1	Boční zajištění dílce	70
6.2	Zajištění dílce shora	75
6.3	Návrh upínání přípravku k polohovadlu	77
7	Návrh svařovacího pracoviště	82
7.1	Koncepční návrh svařovacího pracoviště	82
7.2	Návrh konstrukce polohovadla	83
7.2.1	Výchozí varianta polohovadla	85
7.2.2	První varianta polohovadla	90
7.2.3	Druhá varianta polohovadla	91
7.2.4	Třetí varianta polohovadla	91
7.2.5	Čtvrtá varianta polohovadla	92
7.2.6	Pátá varianta polohovadla	97
7.2.7	Rozpracování finální varianty pro modelový přípravek	99
7.3	Kontrola limitů dosažitelné přesnosti na zvoleném dílci	101
7.3.1	Chyby mechanické stavby polohovadla	101
7.3.2	Chyby způsobené přípravkem	103
7.3.3	Chyby pohonů	108
7.3.4	Chyby robotu	113
7.3.5	Celkové předpokládané maximální chyby	114
8	Simulace svařování na navrženém pracovišti	115

8.1 Výsledná podoba svařovacího pracoviště	115
8.2 Ověření možnosti svařování v krajních polohách dílce	117
12 Závěr	122
Seznamy.....	124

Přehled použitých veličin a jednotek

F_{ax}	[N]	axiální síla působící na upínací rozhraní
$F_{ax\ max}$	[N]	maximální axiální síla působící na upínací rozhraní
F_{lat}	[N]	smyková síla působící na upínací rozhraní
$F_{lat\ max}$	[N]	maximální smyková síla působící na upínací rozhraní
$F_{g\ MTD2000}$	[N]	tíhová síla působící na jednotku MTD 2000
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
m_M	[kg]	hmotnost modelového přípravku s dícem
m_{max}	[kg]	maximální hmotnost přípravku s dílcem
$m_{MTD2000}$	[kg]	hmotnost jednotky MTD 2000
m_v	[kg]	celková hmotnost vyrovnávacích závaží
$M_{MTD2000}$	[Nm]	kroučící moment vyvozený tíhou jednotky MTD 2000
M_{tilt}	[Nm]	klopný moment působící na upínací rozhraní
$M_{tilt\ max}$	[Nm]	maximální klopný moment působící na upínací rozhraní
M_{tor}	[Nm]	kroučící moment působící na upínací rozhraní
$M_{tor\ max}$	[Nm]	maximální kroučící moment působící na upínací rozhraní
$r_{MTD2000}$	[m]	vzdálenost těžiště MTD 2000 od osy otáčení polohovadla
r_v	[m]	délka ramen pro vyrovnávací závaží
r_x	[mm]	vzdálenost těžiště modelového přípravku od osy rotace MTD 2000 v ose x
r_y	[mm]	vzdálenost těžiště modelového přípravku od osy rotace MTD 2000 v ose y
r_z	[mm]	vzdálenost těžiště modelového přípravku od upínacího rozhraní v ose z
$r_{x\ max1000}$	[mm]	maximální povolená vzdálenost těžiště modelového přípravku od osy rotace MTD 2000 v ose x pro přípravek o hmotnosti 1000 kg
$r_{y\ max\ 1000}$	[mm]	maximální povolená vzdálenost těžiště modelového přípravku od osy rotace MTD 2000 v ose y pro přípravek o hmotnosti 1000 kg

$r_{z \max 1000}$	[mm]	maximální povolená vzdálenost těžiště modelového přípravku od upínacího rozhraní v ose z pro přípravek o hmotnosti 1000 kg
α	[°]	úhlová odchylka dílčích polohovacích jednotek
Δ_3	[mm]	max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti obou dílčích jednotek (MTD 2000, MTD 5000)
Δ_C	[mm]	max. celková odchylka místa svaru modelového dílce
$\Delta_{\text{MTD } 2000}$	[mm]	maximální posunutí místa svaru modelového dílce vlivem nepřesnosti jednotky MTD 2000
$\Delta_{\text{MTD } 5000}$	[mm]	maximální posunutí místa svaru modelového dílce vlivem nepřesnosti jednotky MTD 5000
Δ_p	[mm]	celkové max. posunutí místa svaru vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla
Δ_R	[mm]	max. chyba svařovacího robotu
$\Delta_{x \text{ pol}}$	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení polohovadla
$\Delta_{x \text{ př}}$	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení přípravku
Δ_{X2}	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti jednotky MTD 2000
Δ_{X3}	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti obou dílčích jednotek (MTD 2000, MTD 5000)
$\Delta_{X \text{ MTD}2000}$	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru modelového dílce vlivem nepřesnosti jednotky MTD 2000
Δ_{Xp}	[mm]	x-ová složka max. posunutí místa svaru vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla
$\Delta_{y \text{ pol}}$	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení polohovadla
$\Delta_{y \text{ př}}$	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení přípravku
Δ_{Y2}	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti jednotky MTD 2000
Δ_{Y3}	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti obou dílčích jednotek (MTD 2000, MTD 5000)
$\Delta_{Y \text{ MTD}2000}$	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru modelového dílce vlivem nepřesnosti jednotky MTD 2000
Δ_{Yp}	[mm]	y-ová složka max. posunutí místa svaru vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla

$\Delta_{z\text{ pol}}$	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení polohovadla
$\Delta_{z\text{ př}}$	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru od zatížení přípravku
Δ_{Z2}	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti jednotky MTD 2000
Δ_{Z3}	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru s připočtením nepřesnosti obou dílčích jednotek (MTD 2000, MTD 5000)
$\Delta_{Z\text{ MTD5000}}$	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru modelového dílce vlivem nepřesnosti jednotky MTD 5000
Δ_{Zp}	[mm]	z-ová složka max. posunutí místa svaru vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla

1 Úvod

Tato práce se zabývá návrhem robotického pracoviště pro svařování tenkostěnných plechových dílců obráběcích strojů a dále návrhem vzorového svařovacího přípravku pro vybraný modelový dílec.

Hlavní řešenou částí pracoviště je polohovadlo, do kterého jsou upínány přípravky s dílci. Polohovadlo musí být schopno zajistit potřebné natočení dílce vůči svařovacímu robotu a zároveň vyhovět z hlediska dosahované přesnosti – tenké plechové dílce mají zvýšené nároky na přesnost. Na základě rešerše je nejprve zvolen vhodný typ polohovadla, který je následně přizpůsoben zadání. Zadané parametry svařovaných dílců, pro něž je polohovadlo navrhováno jsou: maximální úhlopříčná délka 2200 mm (včetně přípravku), maximální hmotnost 1000 kg (včetně přípravku). Cílem je navrhnout polohovadlo, na kterém největší odchylka v místě svaru upnutého dílce nepřesáhne v žádné poloze hodnotu 1 mm (s těžištěm upnutého přípravku uvažovaným v ose polohovadla). Polohovadlo se předpokládá složené z nakupovaných a vlastních navrhovaných částí.

Dalším krokem je návrh a konstrukce konkrétního svařovacího přípravku s úhlopříčnou délkou 2200 mm pro vybraný dílec z plechu o tloušťce 3 mm. Součástí návrhu je výběr vhodných svařovacích pozic pro daný dílec, řešení způsobu upínání dílce do přípravku a upínání samotného přípravku k polohovadlu.

Vzhledem k tomu, že výroba plechových dílců obráběcích strojů je v současnosti v ČR řešena spíše malosériově či kusově, předpokládají se i pro navržené pracoviště a přípravek malé série dílců o počtu cca 20 kusů. Důraz je proto kladen na nízkou cenu a konstrukční jednoduchost. Jak přípravek, tak navrhované části polohovadla jsou konstruovány jako stavebnicové svařované konstrukce z plechových dílců umožňující snadné sestavení, svaření a celkově levnou výrobu.

Součástí práce je dále analýza celkové přesnosti modelového dílce umístěného na navrženém pracovišti. Pomocí MKP je zjišťována největší polohová odchylka v místě svaru dílce. Uvažována jsou posunutí vlivem zatížení polohovadla a vlivem zatížení samotného svařovacího přípravku. Dále je zohledněna výrobcem daná nepřesnost nakupovaných polohovacích jednotek použitých na polohovadle a také přesnost svařovacího robotu. Součtem všech zmíněných vlivů je maximální celkové posunutí místa svaru. Na základě této hodnoty je zhodnocena možnost svařování dílce navrženým postupem s případnými úpravami.

Poslední částí práce je provedení simulace svařování modelového dílce vybraným postupem na navrženém pracovišti. Cílem je ověření možnosti bezkolizního svařování ve všech krajních polohách dílce a získání představy o době trvání celé operace.

2 Cíle práce

Celkovým cílem práce je návrh robotického pracoviště a typu svařovacího přípravku vhodných pro snadné a levné svařování plechových dílců obráběcích strojů vyráběných v malých sériích. Modelový přípravek je konstruován na míru konkrétnímu plechovému dílci typu nádrž obráběcího stroje. Polohovadlo je pak navrhováno pro maximální možné zatížení obecným přípravkem o maximální hmotnosti 1000 kg.

Postup práce lze rozdělit do následujících dílčích bodů:

1. Provedení rešerše svařovacích přípravků a příslušenství k nim.
2. Zpracování rešerše kinematických uspořádání robotických svařovacích pracovišť.
3. Vytipování charakteristických plechových dílců OS a postupů jejich svařování.
4. Výběr modelového plechového dílce, návrh vhodného upínacího přípravku a postupu svařování pro tento dílec.
5. Ideový návrh polohovadla robotického pracoviště vhodného pro manipulaci s přípravky o parametrech: max. úhlopříčná délka 2200 mm, hmotnost 1000 kg. Nejvyšší přípustná odchylka v místě svaru polohovaného dílce vlivem zatížení mechanické stavby polohovadla: 1 mm u přípravku o hmotnosti 1000 kg s těžištěm v ose/osách polohovadla.
6. Otestování celkové přesnosti polohy svaru u modelového přípravku a dílce. Uvažována odchylka vlivem zatížení polohovadla, vlivem zatížení přípravku, vlivem nepřesností nakupovaných polohovacích jednotek a vlivem odchylky robotu.
7. Provedení simulace svařování na navrženém pracovišti v softwaru RobotStudio. Ověření dosažitelnosti krajních poloh a bezkolizního svařování určeným postupem.
8. Zpracování technické dokumentace – návrhové a sestavné výkresy modelového svařovacího přípravku.

3 Svařovací přípravky

Součástí zahájení práce na vlastním návrhu svařovacího pracoviště je rešerše stávajícího stavu techniky a řešení v oblasti svařovacích přípravků a jejich příslušenství, kterou představuje tato kapitola. Na ní navazuje rešerše robotických svařovacích pracovišť kapitola „4 Robotická svařovací pracoviště“.

Pro úspěšnou svařovací operaci je kromě správně zvoleného technologického postupu klíčový také vhodně zvolený způsob upnutí svařenců. K tomuto účelu slouží celá škála přípravků – ty je možné rozdělit podle několika kritérií a jejich společnou funkcí je jednoznačné, pevné, přesné, bezpečné a pokud možno rychlé upnutí daných svařovaných dílců v pracovním prostoru svařovacího pracoviště.

Na konstrukci přípravků a samotný způsob fixace svařenců je kladena řada požadavků. V první řadě musí být upnutí navrženo tak, aby měl robot (případně svářeč) zajištěn bezkolizní přístup k těm místům dílce, kde se budou provádět svary. Dále je třeba, aby byla dodržena funkční spolehlivost při zakládání a vyjímání dílů – tedy, že každý další svařenec stejného typu se bude po upnutí do přípravku nacházet ve stejné poloze v rámci výrobních tolerancí. Současně by však měla být konstrukce upínacího systému co nejjednodušší, aby bylo možné hotový dílec snadno vyjmout.

Tato podmínka opakovatelnosti, přesnosti a zároveň jednoduchosti uložení svařenců souvisí také s ekonomickou stránkou procesu. Vhodně navržený, efektivní přípravek může významně pomoci s urychlením výroby a zlepšením jakosti svařenců. Zejména na robotizovaných automatických pracovištích, schopných opakovaně vytvářet velmi přesné a kvalitní svary, má přesné upnutí svařovaných dílců značný vliv na snížení počtu zmetků. Jednoduché, snadno opakovatelné zakládání zase pomáhá snižovat výrobní časy a tím i náklady. Ve výsledku je tak možné zvýšit jak produktivitu výroby, tak kvalitu produktů, což má význam především pro sériové provozy [5,6,8].

Dalším stěžejním požadavkem na svařovací přípravek je zajištění jeho tvarové a rozměrové stálosti. Obecně platí, že tuhost přípravku musí být dostatečná k tomu, aby byla v průběhu celé výrobní operace zachována poloha svařované součásti. Upínací systém musí být tedy logicky tužší než svařenec, aby pod vlivem tíhy dílce (a případně dynamických sil při polohování přípravku) nedošlo k jeho nepříjemné deformaci. Na rozdíl od obráběcích operací odpadá při svařování namáhání reznými silami. Naproti tomu je zde však nutné klást důraz na deformační síly vyvolané teplem vneseným do materiálu během svařovacího procesu.

S nároky na tuhost souvisí také volba vhodného materiálu při návrhu přípravku. Základními sledovanými parametry jsou pevnost, tuhost a odolnost proti opotřebení. Tyto požadavky nemusí být vždy zcela slučitelné a výsledný výběr materiálu se pak odvíjí od konkrétního typu přípravku a podmínek, za kterých bude provozován. Celkově existují tři nejčastěji používané materiály pro konstrukci přípravků:

- Hliníkové slitiny – jejich výhodou je především nízká hmotnost a také dobrá odolnost proti korozi. Pevnost je pro lehčí dílce dostačující, celkově je však spíše nízká. Modul pružnosti o hodnotě $E=70$ GPa je třetinový oproti oceli. Přípravky konstruované z hliníkových slitin tedy obecně nejsou vhodné pro velká silová ani teplotní zatížení (tepelná roztažnost je oproti konstrukční oceli zhruba dvojnásobná). Jejich cena bývá vyšší.
- Korozivzdorné oceli – zaručují kvalitní antikorozi ochranu, čímž přispívají ke zvýšení spolehlivosti a životnosti přípravku. Cenově však nejsou tak dostupné jako běžné konstrukční oceli a hlavním kritériem pro případný výběr je tedy hlavně skutečnost, zda se bude daný přípravek dlouhodobě nacházet v nepříznivém korozním prostředí, např. v kontaktu s vodou či jinými agresivními kapalinami
- Konstrukční oceli – pro konstrukci přípravků jsou nejpoužívanějším materiálem. Pokud nejsou na přípravek kladeny zvláštní požadavky jako např. zvýšená odolnost proti korozi nebo výraznější odlehčení, bude konstrukční ocel zřejmě vhodnou volbou. Poměr mechanické pevnosti ($E=210$ GPa), teplotní roztažnosti a ceny vychází ze všech tří materiálů nejlépe. Nevýhodou je pouze vyšší hmotnost. Případné deformace přípravku vlivem vlastní tíhy je možné řešit např. použitím dutých profilů, eventuálně pak výměnou materiálu přípravku nebo jeho části za slitinu hliníku.

Jak už bylo zmíněno, v případě svařovacích přípravků je kromě mechanického namáhání nutné věnovat zvýšenou pozornost také tepelným vlastnostem použitého materiálu. Přípravek se především nesmí vlivem tepla vzniklého při svařování nepřijatelně deformovat, dále musí být jeho funkční plochy chráněny proti rozstříku svařovaného kovu, materiál přípravku nesmí během svařování reagovat s materiálem dílce a musí být zajištěna jeho vodivost, jelikož přípravkem prochází svařovací proud [5,8,12].

Konstrukčních variant svařovacích přípravků může být velké množství, jelikož vhodný způsob upínání se díl od dílu liší a lze jej optimalizovat každému svařenci „na míru.“ Přesto však existuje několik obecně platných konstrukčních zásad, které by při návrhu přípravků měly být brány v potaz.

Především, kromě již popsaného výběru vhodného materiálu z hlediska tuhosti, by měla být vždy provedena kontrolní pevnostní, případně také teplotní analýza (např. pomocí MKP), aby byla potvrzena správnost návrhu.

Konstrukce musí být řešena tak, aby bylo zajištěno bezproblémové zakládání a vykládání dílců do potřebných poloh bez rizika poškození svařence. Při ručním zakládání je potřeba myslet na kvalifikaci obsluhy.

Obsluha by pak měla být co nejjednodušší. Je vhodné, aby se přípravek skládal z jednoduchých prvků, umožňujících snadné a variabilní přichycení přídavných upínacích zařízení pro fixaci dílců, přičemž šroubová spojení nejsou pro upínání příliš vhodná.

Hmotnější a rozměrnější přípravky by měly být vybaveny závěsnými oky či rukojeťmi pro zajištění snadného a bezpečného přemístění na jiné pracoviště.

Z ekonomického hlediska je třeba do návrhu zahrnout předpokládanou minimální životnost a případné náklady na servis a seřízení [12].

3.1 Rozdělení svařovacích přípravků

Přípravky pro svařování lze rozdělit podle několika různých kritérií. Přestože se víceméně všechny přípravky skládají ze stejných tří základních prvků (pracovního stolu/ základního tělesa přípravku, ustavovacích a upínacích prvků), je z konstrukčního hlediska důležité jejich rozdělení podle způsoby výroby, pro který jsou použity – kusová, malosériová nebo sériová. Z tohoto hlediska existují přípravky jednoúčelové – vyrobené na míru zákazníkovi dle daného svařovaného dílce (velkosériová výroba) a přípravky stavebnicové – modulární (kusová a malosériová výroba).

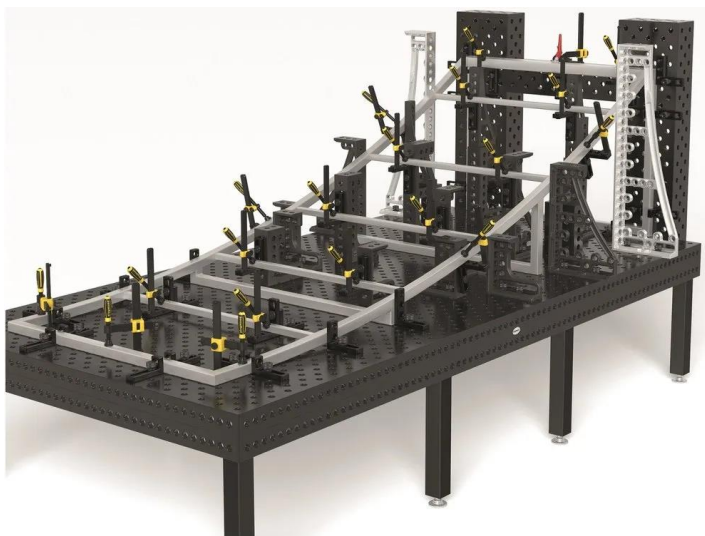
Dále se přípravky rozdělují podle nástrojů používaných k upínání. Ty jsou nejčastěji buď mechanické, pneumatické nebo hydraulické. Všechny tyto konstrukční prvky a způsoby jejich rozdělení budou detailněji popsány v dalších podkapitolách [5,6,8].

3.1.1 Stavebnicové přípravky

Modulární nebo také stavebnicové přípravky jsou navrženy tak, aby bylo možné podle potřeby změnit jejich uspořádání a použít je pro upnutí jiného typu dílce (svařence). Toho je možné dosáhnout díky množství typizovaných součástí, ze kterých se skládá sestava přípravku. Takováto modulární koncepce umožňuje výrazně zjednodušit přípravu výroby, jelikož není potřeba od základu navrhovat a konstruovat přípravek pro každý nový svařenec zvlášť. V kusové a malosériové výrobě, kde se svařované dílce často obměňují, je toto řešení uplatňováno velmi často, zejména proto, že oproti jednoúčelovým přípravkům šetří pořizovací náklady (přesnost a pevnost je oproti nim však spíše nižší). I v případě přípravků na míru se však často používá kombinace jednoúčelových a modulárních prvků, jak bude popsáno dále.

Z konstrukčního hlediska jsou základem stavebnicových prvků stoly či pouze základní desky. Ty jsou odlévané, následně broušené pro dosažení vysoké přesnosti a povrchově upravené proti zachytávání nataveného kovu, odstříkujícího při sváření. Stoly jsou opatřeny přesně vrtanými otvory, sloužícími pro upínání součástí a rovněž pomocných prvků jako jsou dorazy, čepy, upínky a svěrky. Tyto doplňkové nástroje jsou zpravidla dodávány výrobcem stavebnicových přípravků a k univerzálním základním deskám je lze snadno dokoupit dle potřeby.

V České republice se na modulární svařovací přípravky specializuje především společnost JC-Metal, která zde distribuuje stavebnicové systémy od německé firmy Siegmund. Příklad svařovací stavebnice od této společnosti je na obrázku 3.1 [2,4,5,6,8,12].



Obrázek 3.1: Stavebnicový svařovací přípravek Siegmund [38]

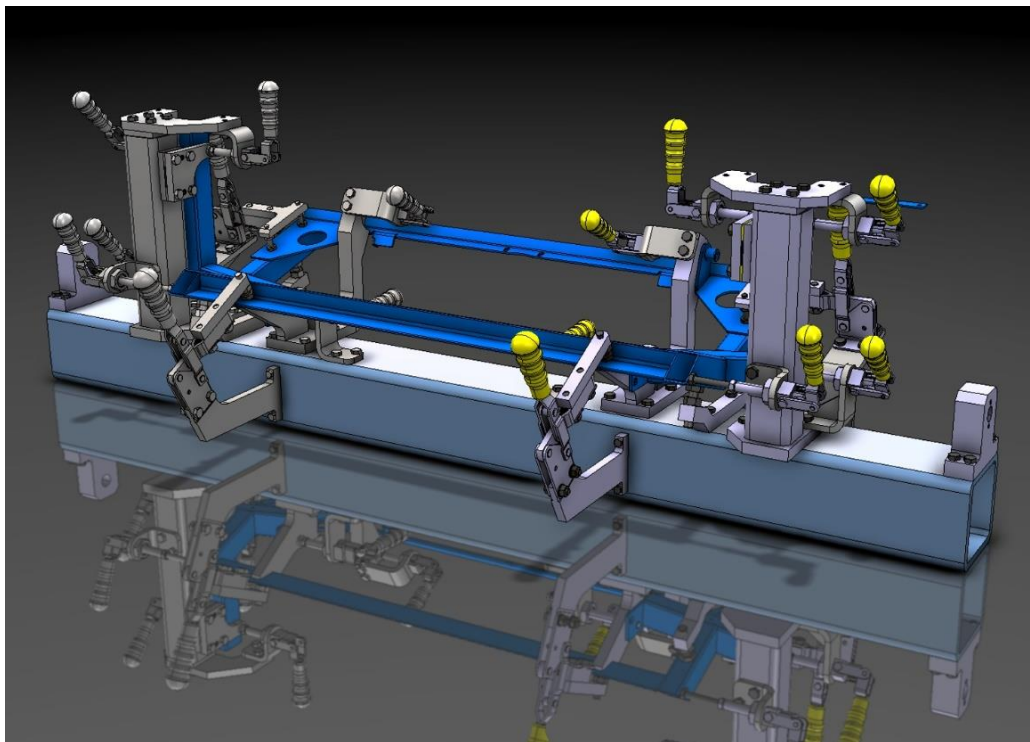
3.1.2 Jednoučelové přípravky

Jednoučelové přípravky jsou, na rozdíl od snadno přestavitelných stavebnicových systému, zpravidla projektovány pro jediný konkrétní díl bez možnosti větších zásahů do jejich konstrukce. Taková na míru provedená optimalizace umožňuje výrazně urychlit proces upínání, kdy není nutné precizně nastavovat přípravek pro každou novou součást zvláště. Přesnost upínání, snadný přístup svařovacího hořáku a efektivní zakládání a vykládání dílců je zde do značné míry dáno již samotnou konstrukcí přípravku, pokud je správně navržen. S tím souvisí také vyšší efektivita výroby jako důsledek kratších upínacích časů. Díky těmto vlastnostem se jednoučelové přípravky používají především v sériové výrobě, kde je velký důraz na výkonnost a podmínky výrobního procesu se nemění příliš často.

Vkládání, vykládání a upínání dílce do přípravku může být ruční nebo automatické. Jelikož svařování může mít negativní vliv na zdraví člověka, využívají se zejména ve velkosériové průmyslové výrobě centrálně řízené pneumatické upínky, případně manipulační roboty pro zakládání a vykládání. Ani v případě ruční manipulace se svařencem se však nejedná o nijak složité operace, na rozdíl od upínání do stavebnic, kdy je potřeba celý přípravek přesně sestavit a seřadit. Jednoučelové přípravky svým tvarem a konstrukcí už často přímo navádí dílec do místa uložení a pozice pro upínky jsou jasně definovány. Nevyžadují proto tak kvalifikovanou obsluhu.

Nevýhodu může představovat vyšší cena těchto přípravků související s vyššími náklady na výrobu (vzhledem k jejich jedinečnosti) a také s většími náklady na opravu v případě poškození. Integrace automatických upínacích prvků pak tuto cenu pochopitelně ještě zvyšuje. Na druhou stranu, vysoký stupeň automatizace a rychlý proces upínání a manipulace se svařencem může výrobní časy, a tedy i náklady, naopak významně snížit. Je tak vždy potřeba uvážit, který z typů přípravku – modulární, jednoučelový (případně jejich kombinace) – je pro daný svařenec vhodný, v závislosti na tom, o jak velkou sérii dílců se jedná, jaké jsou požadavky na přesnost atd.

Samotné konstrukce těles jednoučelových přípravků bývají nejčastěji svařované, případně nýtované nebo šroubované. Dále jsou dle potřeby vybaveny rozličnými pomocnými (upínacími, ustavovacími) prvky, kterým se konkrétněji věnuje další kapitola. Příklad jednoučelového svařovacího přípravku je na obrázku 3.2 [2,5,8,12].



Obrázek 3.2: Jednoučelový svařovací přípravek PSKU [39]

3.2 Příslušenství k přípravkům

Stavebnicové i jednoučelové svařovací přípravky musejí být pro správné napolohování a upnutí součástí vybaveny celou řadou pomocných nástrojů. Úkolem těchto prvků je odebrání stupňů volnosti svařovaným dílcům a tím jejich fixace buď k tělesu přípravku nebo k sobě navzájem. Z konstrukčního hlediska se jedná především o různé druhy svěrek a upínek (zajišťují upínání vyvozením síly). Dále sem potom patří dorazové prostředky.

Upínky se podle způsobu vyvození síly rozdělují na několik typů – ruční, pneumatické, hydraulické, elektrické, případně magnetické či elektromagnetické [2,12].

Ruční upínání je stále hojně používané, zejména v kusové výrobě, kde není příliš velký tlak na rychlost a efektivitu vedlejších operací. Upínací síla na svařenec je zde vyvozena lidskou obsluhou přípravku, a to buď přímo nebo přes mechanický převod [12].

Druhým ze dvou nejčastěji používaných typů jsou upínky pneumatické. Ty pracují se stlačeným vzduchem jakožto zdrojem síly a po napojení na centrální řídicí systém umožňují automatizaci upínání.

Hydraulické upínání je méně vhodné jednak kvůli vyšším pořizovacím nákladům oproti pneumatickým prvkům a jednak proto, že je u nich nutné řešit olejové hospodářství [2,5,6,8,12].

V dalších podkapitolách jsou detailněji popsány různé typy pomocných prvků, jež jsou rozděleny do tří hlavních skupin – svěrky, upínky a dorazové prostředky. Samotné podkapitoly již nezohledňují zde popsané rozdělení podle zdroje upínací síly, konkrétní příklady upínek různých konstrukcí jsou společně popsány v podkapitole 3.2.2 – Upínky.

3.2.1 Svěrky

Jedná se o jednoduché upínací prvky, které nacházejí uplatnění především v kusové výrobě. Zejména při dílenských pracích představují jeden ze základních nástrojů pro úspěšné svařování (přičemž jejich použití samozřejmě není omezeno jen na tuto technologii). Pomocí svěrek je možné upevnit součásti ke stolu, případně je stáhnout k sobě a zajistit tak, s dostatečnou pevností upnutí, potřebnou svařovací pozici. Jejich hlavními přednostmi jsou univerzálnost, snadná přestavitelnost (použití ve stavebnicových přípravcích), jednoduchost použití a nízká cena. Pro základní svařování, kdy se jedná např. o upnutí dvou plechů, profilů či trubek k sobě, jsou svěrky vhodným nástrojem. Dělit je lze na několik typů: [2,5,12]

Posuvné – univerzální nástroje zejména pro dílenské použití. Rychlost upínání je, vzhledem k ručnímu šroubování, poměrně nízká.



Obrázek 3.3: Příklady posuvných svěrek [40,41]

Klešťové – v čelistech mají závitové otvory pro šrouby, mezi jejichž patky je následně upnut dílec. Klešťové svěrky slouží zejména pro vzájemnou fixaci dílců.



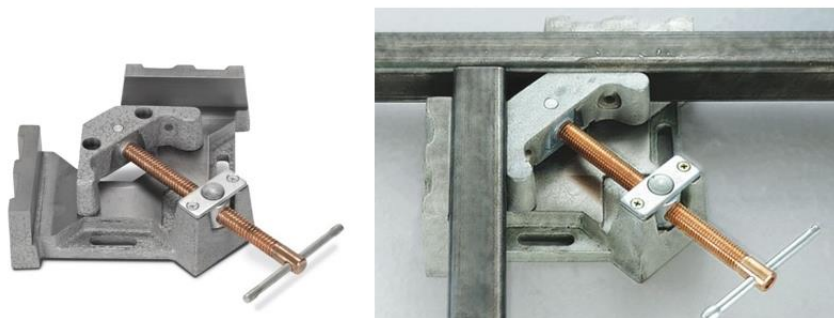
Obrázek 3.4: Klešťové svěrky [42,43]

Čelistové – zpravidla jsou vybaveny tlačítkem pro rychlé upnutí a uvolnění. Šroubové spojení slouží k utažení. Čelisti mohou obsahovat tvarové dotyky nebo návleky pro choulostivé povrchy.



Obrázek 3.5: Čelistová svěrka SHARK SC50 [44]

Úhlové – slouží k upínání a zároveň napolohování svařovaných součástí, např. profilových rámců. Svěrka na obrázku 3.6 obsahuje šroubový upínací mechanismus a také dosedací plochy pro zajištění správné polohy dílců.



Obrázek 3.6: Kovová úhlová svěrka MWS-2 56 [45,46]

Speciální – jsou navrženy pro jednu speciální operaci, kde se pracuje s jedním konkrétním typem dílce (např. trubky).



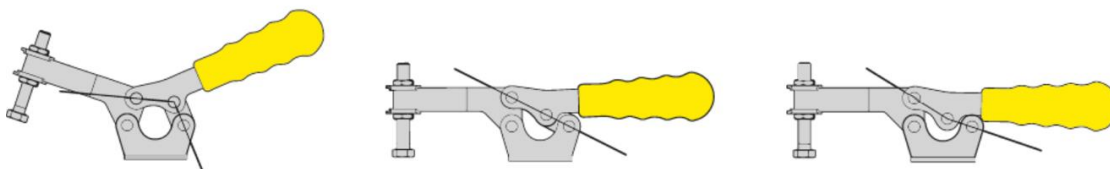
Obrázek 3.7: Středící svěrka pro svařování dvou trubek ($\varnothing 25-90$ mm) [47]

3.2.2 Upínky

Dalším, a v současnosti převládajícím, typem nástrojů používaných k upevnění dílců ve svařovacích přípravcích jsou upínky, a to především tzv. rychloupínky. Ty využívají kloubový mechanismus sloužící k vyvození potřebné síly, kterou jsou dílce dotlačeny na dorazové plochy. Samotný proces fixace svařence k přípravku je velmi jednoduchý, jelikož upínky mohou nabývat v podstatě jen tří pracovních poloh.

Před zahájením upnutí je mechanismus otevřený a na dílec nepůsobí žádná síla. Dále je pohybem ovládacího ramene upínky dosaženo tzv. nulové polohy, kdy upínací síla již působí, ale upínka není zajištěna proti otevření v případě, že přestane působit ovládací síla. K zajištění dojde až ve chvíli, kdy se kloubový mechanismus dostane do tzv.

mrtvého bodu – v této poloze je již mechanismus samosvorný a ovládací sílu lze odstranit. Opětovného otevření je pak možné dosáhnout působením relativně malé síly na ovládací rameno opačným směrem. Některé upínky obsahují také zabezpečení proti neúmyslnému otevření. Celý upínací proces je znázorněn na obrázku 3.8.



Obrázek 3.8: Pracovní pozice upínky (zleva - otevřeno, nulová poloha, mrtvý bod) [7]

Takto řešené upínání výrazně urychluje přípravu výroby a tím zvyšuje i produktivitu při zachování přesnosti. Proto jsou u součástí vyráběných sériově využívány výhradně právě rychloupínky, které na rozdíl od klasických svěrek disponují nejen vyšší rychlostí, ale také možností integrace do automatického pracoviště v případě, že je použit jiný než ruční mechanický pohon – využívají se především upínky pneumatické. Mezi přední výrobce pomocných upínacích prvků patří již zmíněná společnost Siegmund, dále pak např. firmy Brauer a Kipp.

Při výběru vhodné upínky pro konkrétní dílec a operaci je třeba zohlednit jednak potřebnou upínací sílu nutnou ke spolehlivé fixaci a jednak také polohu, ve které bude daná součást do přípravku upínána. Z tohoto důvodu existuje několik druhů upínek rozdělených podle jejich pozice vůči upínanému dílu a směru jejich pohybu [5,6,12].

Šroubové upínky

Kromě kloubových rychloupínek existují také klasické upínky se šroubovým mechanismem, u nichž je upínací síla vyvozena utažením matice (obrázek 3.9). Dnes se však od jejich používání spíše ustupuje, neboť přinášejí řadu nevýhod – ruční utahování trvá dlouho a jeho případná automatizace je nákladná. Konkrétně u svařování pak dále hrozí znečištění pracovního závitu rozstříkáním nataveného kovu.

Všechny tyto nepříznivé vlastnosti ukazují, že (především v sériové výrobě) jsou lepší a praktičtější volbou k fixaci dílců rychloupínky. Přesto, pokud nejsou k dispozici sofistikovanější nástroje, lze šroubové upínání např. v dílenské výrobě stále použít jako vhodnou alternativu [2,5].



Obrázek 3.9: Šroubové upínky [48,49]

Kloubové upínky-vertikální

Jejich rukojeť se v upnutém stavu nachází ve svislé poloze (obr. 3.10). Během upínání se rukojeť a rameno přitlačující dílec pohybují shodným směrem. Rukojeť je ergonomicky tvarovaná pro snadné ruční ovládání a je olejivzdorná (toto platí i pro ostatní druhy ručních rychloupínek). Tento typ dosahuje velkých upínacích sil – v řádech až desítek kN [1,7,5,12].

Kloubové upínky-horizontální

Upínání probíhá zatažením rukojeti do vodorovné pozice (obr. 3.11). Rukojeť a upínací rameno se zde tedy pohybují opačným směrem. Pro tento typ je charakteristická jeho nízká konstrukční výška, která může v určitých případech představovat výhodu. Společně s výše zmíněnými svislými upínači se jedná o nejběžněji používané typy rychloupínek. Na rozdíl od vertikální varianty ale vodorovné upínky nedosahují tak velkých sil – spíše jen jednotek kN [1,7,5,12].



Obrázek 3.10: Vertikální ruční upínka [7]



Obrázek 3.11: Horizontální ruční upínka [7]

Kloubové upínky-hákové

Stejně jako u horizontálních upínek je jejich rukojeť zatahována do vodorovného směru. Upínaný dílec však v tomto případě není přitlačován k podložce, ale přitahován hákovým ramenem tvaru „J“ nebo „U“ (obr. 3.12). Délka tohoto ramene je předem nastavitelná [1,7,5,12].



Obrázek 3.12: Háková upínka [7]

Kloubové upínky-přímočaré

Pohybem rukojeti je ovládán píst, který se vysouvá či zasouvá shodně s jejím pohybem (obr. 3.13.). Tento upínací čep může sloužit pro přitlačování součásti i její přitahování – pak se vlastně jedná o obdobu hákové upínky. Upínací síly jsou u této varianty vysoké, až 70 kN. Tento typ upínek se také často vyrábí ve variantě se zvýšenou přesností, té se využívá zejména v aplikacích, kde je nutná zvýšená opakovatelná přesnost [1,7,5,12].

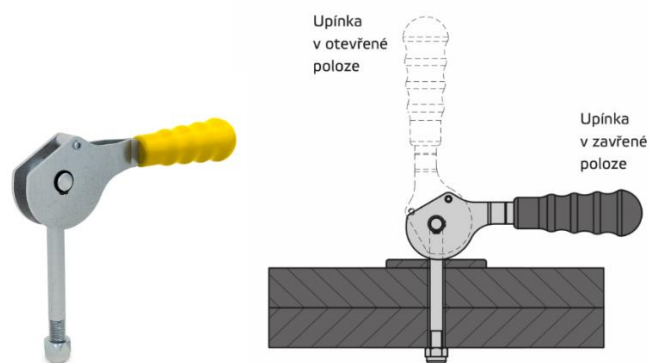


Obrázek 3.13: Přímočará upínka [7]

Excentrické upínky

Obsahují otočnou páku, na níž je vyrobena speciálně tvarovaná plocha. Pohybem rukojeti probíhá rotace této páky kolem osy vzdálené o určitou odchylku (excentricitu) od osy rotačního prvku upínky. Tím, jak se tvarová plocha během pohybu zapírá

o podklad, přitlačuje mechanismus upínací rameno směrem k dílci, který je takto sevřen (obr. 3.14) [1,7,5,12].



Obrázek 3.14: Princip excentrických upínek [50]

Pneumatické upínky – standardní

Prakticky kterákoliv z uvedených variant ručních upínek může být konstruována i v pneumatickém provedení (obr. 3.15). Pneumatické rychloupínky využívají pro pohyb ramene píst ve válci ovládaný proudem stlačeného vzduchu. To umožňuje jejich automatizaci při použití programově řízených ventilů. Upínače rovněž dovolují instalaci snímačů polohy, které se po upnutí dílce sepnou a signálem odešlou informaci o upnutí do řídicí jednotky. Stejně jako v případě ručního ovládní, obsahují i pneumatické upínky mrtvý bod, po jehož překročení je upínací mechanismus zajištěn proti otevření v případě ztráty tlaku ve válci. Dosahované upínací síly se pohybují v řádu desítek až stovek kN [2].



Obrázek 3.15: Příklady standardních pneumatických upínek [51]

Otočné pneumatické upínky

Upínací rameno zde koná šroubový pohyb, kdy dojde k jeho pootočení kolem osy válce a zároveň k přítlačnému pohybu ve svislém směru (obr. 3.16). Těto funkce je dosaženo díky drážce vyfrézované v povrchu pístu, jejíž šroubovitý tvar je kopírovacím mechanismem přenesen na pohyb ramene [2].



Obrázek 3.16: Princip otočných pneumatických upínek [52,53]

Pákové pneumatické upínky

Jako alternativu k otočným upínačům lze případně použít upínače pákové (obr. 3.17). Jedná se o nejmenší typ pneumatických rychloupínek určený především do stísněných prostorů. Jejich upínací síla je až o 25 % vyšší oproti otočným upínačům téže velikosti. Vzhledem k absenci rotačního pohybu je potřeba tyto upínky nastavit do příslušné pozice vůči dílcům předem, během samotného upínání pak vykoná rameno pouze pohyb ve svislém směru. Způsob upevnění k přípravku může být řešen buď pomocí příruby a šroubových spojů, nebo prostřednictvím závitů na samotném tělese upínače [3].

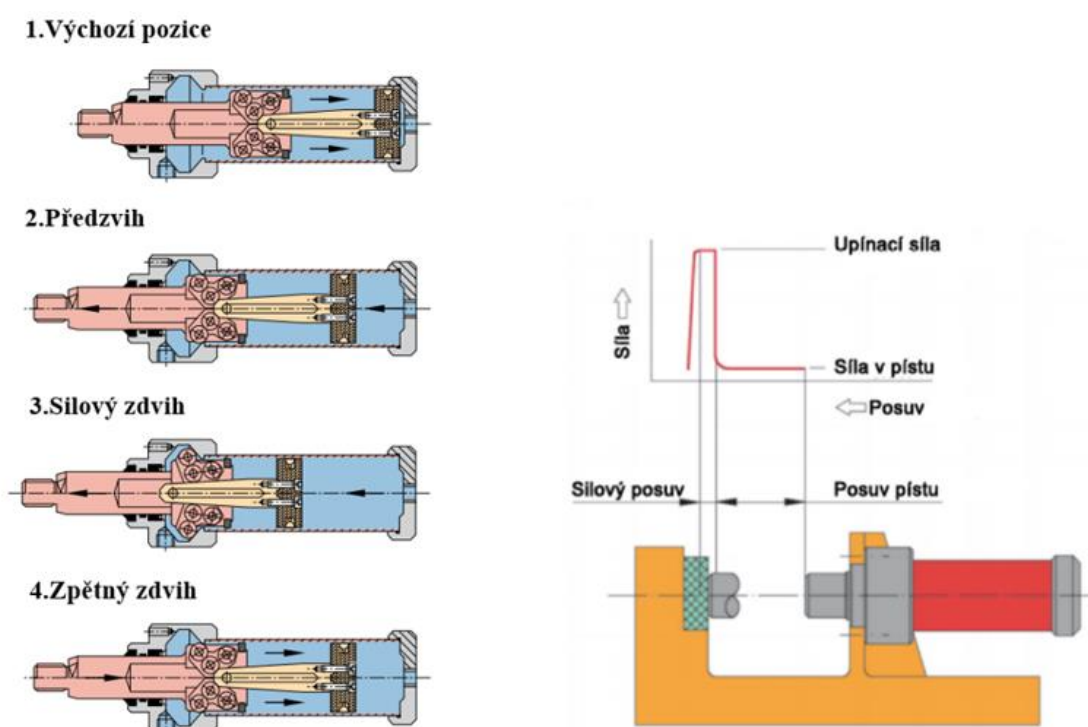


Obrázek 3.17: Pákové pneumatické upínky [54]

Silové pneumatické válce

Pracují s mechanickou multiplikací síly, díky čemuž je proces upínání možné rozdělit na dvě fáze. Nejprve dochází k tzv. předzdvihu, kdy je síla vyvozená upínačem identická s ovládací silou působící na píst a přitlačné rameno se přibližuje k upínanému dílci. Druhou fází je silový zdvih, při kterém je již upínací síla multiplikována a dochází zde k přitlačení dílce (obr. 3.18). Dráha pístu uražená v silové fázi je krátká (pouze kolem 6-7 mm), vyvozená síla je však až desetinásobná oproti síle předzdvihu.

Vzhledem k vysokým dosahovaným silám nacházejí tyto silové válce kromě upínání uplatnění i v jiných typech operací jako např. děrování, stříhání nebo lisování [3].



Obrázek 3.18: Princip silových pneumatických válců [55,56]

Další typy upínek

K pohonu upínacích zařízení na automatizovaných pracovištích lze použít i jiný princip než pneumatický. Všechny zmíněné typy pneumatických upínek budou fungovat stejně i v případě, že pracovním médiem bude místo vzduchu tlaková kapalina. Hydraulická alternativa má však již zmiňované nevýhody – vyšší náklady a nutnost řešit cirkulaci oleje. Kromě pneumatiky a hydrauliky je možné upínací pohyb vyvodit také elektricky – elektrické upínky.

Poslední možností je použít k fixaci součástí upínací systémy magnetické či elektromagnetické, kde jimi vytvářená síla neslouží k pohonu přitlačného zařízení, ale přímo k upínání dílců. Např. elektromagnetická upínací deska při napájení proudem generuje elektromagnetické pole, které udrží do přípravku založený dílec ve stabilní poloze.

Všechny zmíněné typy upínačů (tedy ty, které využívají jiný než ruční pohon) sdílejí společnou výhodu v možnosti jejich dálkového ovládní signály z řídicího systému a z toho vyplývající automatizovatelnosti celého upínacího procesu. Jak už však bylo řečeno, ze všech popsaných druhů dominují v rámci (nejen) svařovacích přípravků především upínky ruční a pneumatické [8,12].

3.2.3 Dorazové prostředky

Pro správné a přesné založení svařovaných dílců do přípravku nejsou nutné jen prvky upínací, ale také opěrné, vodící a ustavovací. Dále jsou také zapotřebí nosné prvky pro upínky a další příslušenství.

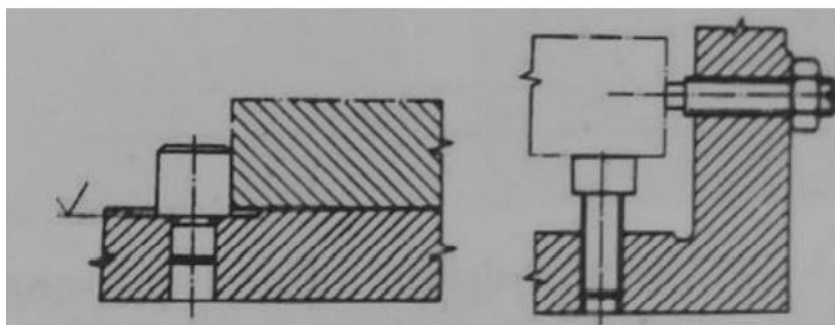
K odebírání stupňů volnosti uchycených svařovaných součástí slouží opěrné dosedací plochy umístěné naproti upínacím zařízením. Aby tyto dorazy zajišťovaly požadovanou přesnost polohy upínaných dílů, musejí být dostatečně odolné vůči opotřebení. Proto se během jejich výrobního procesu tepelně zpracovávají pro vyšší tvrdost a následně brousí kvůli přesnosti. Vyrábějí se buď z nástrojové oceli (menší dorazy), přičemž se následně kalí na 60-62 HRC, nebo z oceli cementační (větší dorazy), které se cementují a kalí na 58-62 HRC. Dosedací plochy mohou být i různě tvarované pro lepší zapadnutí dílce do správné pozice. Opěrky musí být pochopitelně vyměnitelné a dělí se na tři kategorie.

Pevné opěrky zabezpečují jednoznačné dosednutí součástí a jejich fixaci v rámci výrobních tolerancí. Zejména u modulárních svařovacích přípravků se používají pevné dorazové prostředky tvarově částečně standardizované. Existují např. dorazy univerzální, excentrické či úhelníky (obr. 3.19). Tyto opěrky obsahují často větší počet děr a drážek pro zvýšení jejich možných ustavení v rámci stavebnicového systému. Konkrétně úhelníky pak mohou sloužit nejen jako dorazové prostředky, ale také jako nosiče pro jiné prvky, které se k jejich otvorům připevní např. pomocí čepů.



Obrázek 3.19: Dorazové prostředky pro modulární systémy, zleva: univerzální, excentrické, úhelníky [57]

Další variantou jsou opěrky přestavitelné, u nichž je poloha dorazu a tím i svařovaného dílce regulovatelná. Seřízení polohy může být řešeno např. šroubovým dorazem nebo přemístitelným čepovým dorazem (obr 3.20.).



Obrázek 3.20: Čepový a šroubový doraz [5,58]

Posledním typem dorazů jsou pomocné samostavitelné opěrky. Ty slouží k opření dílce v případě nebezpečných deformací vzniklých v důsledku výrobního procesu. Pomocné opěrky jsou v rámci přípravku uloženy volně, aby se mohly svou polohou přizpůsobit pozici součásti.

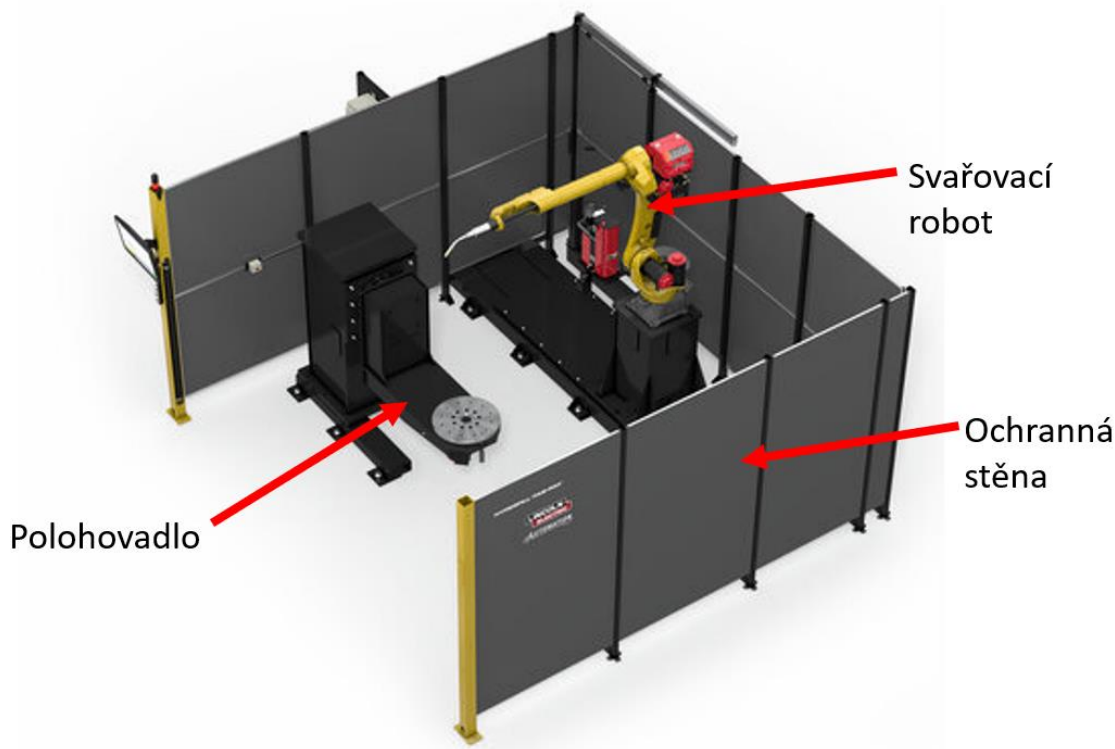
Kromě samotných dorazů zachytávajících upínací sílu obsahují svařovací přípravky i další pomocné prvky. Jsou to např. opěrné vodící lišty a boční opěrky sloužící pro směrové zajištění dílců (boční opěrky jsou kaleny na nižší tvrdost – 35 až 40 HRC – než přímé dorazy), prizmatické opěrky pro podepření dlouhých válcových svařenců a dále čepy sloužící k připevnění jednotlivých pomocných prvků k přípravku. Základem celého systému je pak v případě stavebnicových přípravků normalizovaný svařovací stůl s vyměnitelnými nohami. U jednoúčelových přípravků se jedná o základní těleso zkonstruované na míru konkrétní svařované součásti [5,12].

4 Robotická svařovací pracoviště

V závislosti na způsobu a postupu svařování, velikosti, hmotnosti a přesnosti svařovaných dílců a také celkovém charakteru výroby (kusová/sériová) je nutné vedle vhodné strategie upínání svařenců řešit také celkovou koncepci svařovacího pracoviště.

Zejména v sériové výrobě nacházejí značné uplatnění tzv. automatizované robotické buňky, což jsou základní jednotky výrobního systému schopné samostatné funkce ideálně bez zásahu člověka. Obsahují tři hlavní skupiny prvků – optimálně zvolený svařovací robot s příslušenstvím, manipulační prvky - polohovadlo nesoucí přípravek se svařencem a zajišťující jeho správné napozicování vůči robotu, a dále ochranné bezpečnostní prvky.

Robotizované buňky lze pro navazující operace řadit za sebe (skupina robotizovaných buněk, robotizovaná linka), případně mohou být různě modifikovány, např. integrací více technologických operací rámci jedné buňky (svařovací robot + automat pro navařování matic apod.) nebo přidáním většího počtu manipulačních prvků – polohovadel. Příklad jednoduché robotizované svařovací buňky je na obrázku 4.1. [5,15]



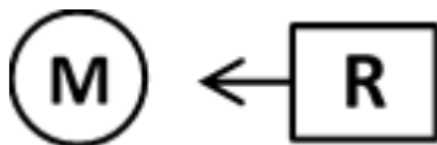
Obrázek 4.1: Robotizovaná svařovací buňka [59]

4.1 Rozdělení robotických svařovacích pracovišť podle kinematiky

Z hlediska vzájemného vztahu robotu a nosiče přípravku (polohovadla) se rozlišuje pět základních kinematických koncepcí. Ty se dále člení podle typu použitého polohovadla.

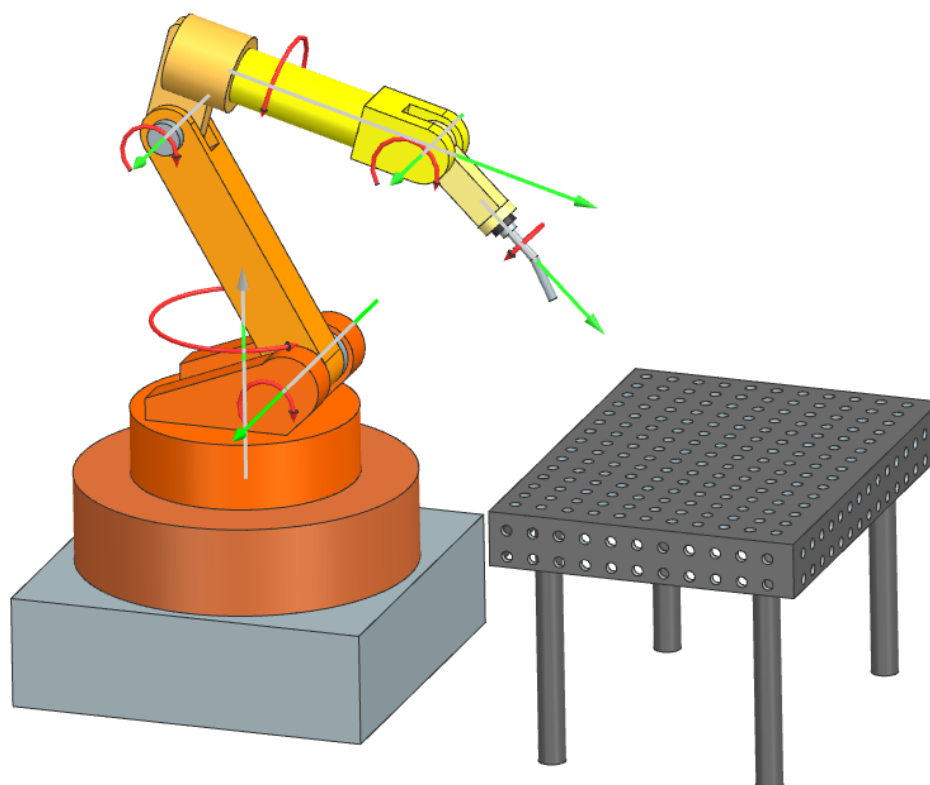
4.1.1 Svařovací robot a stůl/polohovací manipulátor

V této variantě obsahuje pracoviště jeden svařovací robot a jeden nosič přípravku se svařencem, který může být buď pevný nebo pohyblivý (obr 4.2.).



Obrázek 4.2: Schéma koncepce robot + manipulátor [14]

Nejjednodušší možné řešení – s pevným svařovacím stolem je na obrázku 4.3. V tomto případě je nutné přípravek se svařovanými díly napolohovat na stůl již předem tak, aby na nich bylo možné vykonat příslušnou svařovací operaci, přičemž jejich pozici nelze dále měnit. Pokud se svaření dílců nedá provést na jedno upnutí, je potřeba součásti z přípravku vyjmout a znovu je ručně ustavit do nové pracovní pozice. Z tohoto důvodu se pevný svařovací stůl bez polohovadla používá spíše pro jednodušší dílce, které lze svařit v rámci jednoho upnutí.

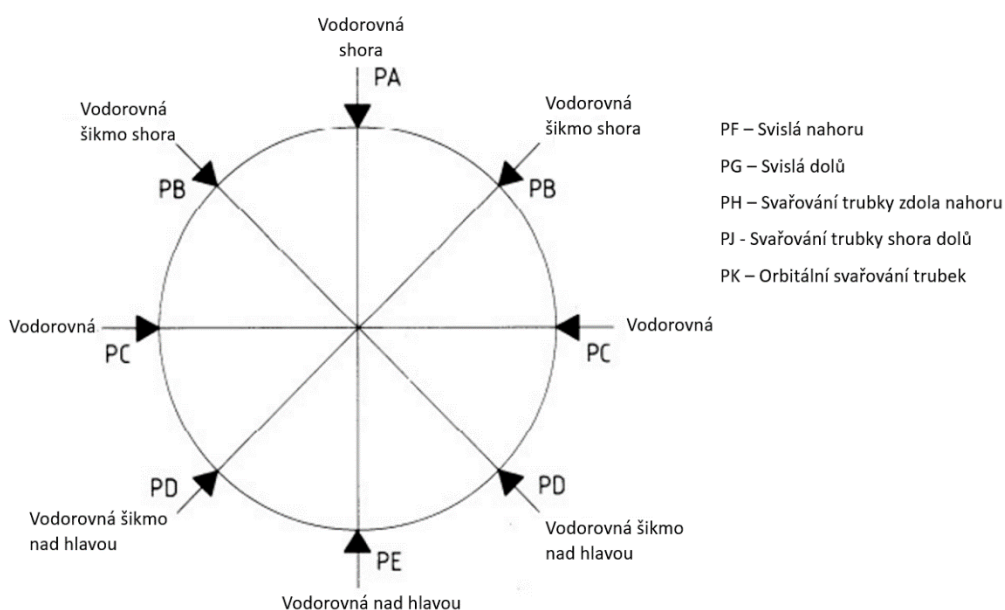


Obrázek 4.3: Robotické svařovací pracoviště s pevným stolem

V případě komplikovanějších svařovacích operací je běžnější použití koncepce robot + polohovací manipulátor – ten umožňuje svařovacím přípravkem otáčet nebo posouvat podle jedné či více os a docílit tak značně větší flexibility, kdy není nutné pro každou novou pozici svařence provádět jeho přeupnutí. Je možné provést celý řetězec svařovacích operací (s různě orientovanými svary) za sebou díky otáčení dílce polohovacím mechanismem.

Nastavení přípravku polohovadlem se provádí mezi jednotlivými svařovacími operacemi, popřípadě může být tento pohyb synchronizován s pohybem robotu přímo v průběhu svařování [5,6].

Možných svařovacích pozic je celá řada (viz obr 4.4), ideálně je však snaha svařovat v rozsahu $\pm 45^\circ$ od vodorovné pozice shora (polohy PA, PB). Jelikož polohovadla často umožňují dosáhnout potřebné orientace dílce pouze jeho vhodným prostorovým natočením, pomáhá jejich použití i ke zvýšení kvality svarů a přesnosti výroby [5,6].



Obrázek 4.4: Druhy svařovacích poloh [79]

Konstrukce polohovadel je zpravidla tvořena pevným rámem a něm umístěnou pohyblivou pracovní částí tvořenou rotačními či posuvovými mechanismy, eventuálně jejich kombinací. Pohybové osy polohovadel mohou být ovládány buď ručně nebo pomocí pohonu (v tomto případě je možné jejich napojení na řídicí systém robotu a automatické polohování).

Vzhledem k poměrně jednoduchému zakládání přípravků se svařenci do polohovadla dochází ke značnému zefektivnění výroby, kdy upínání dalšího dílce do přípravku může

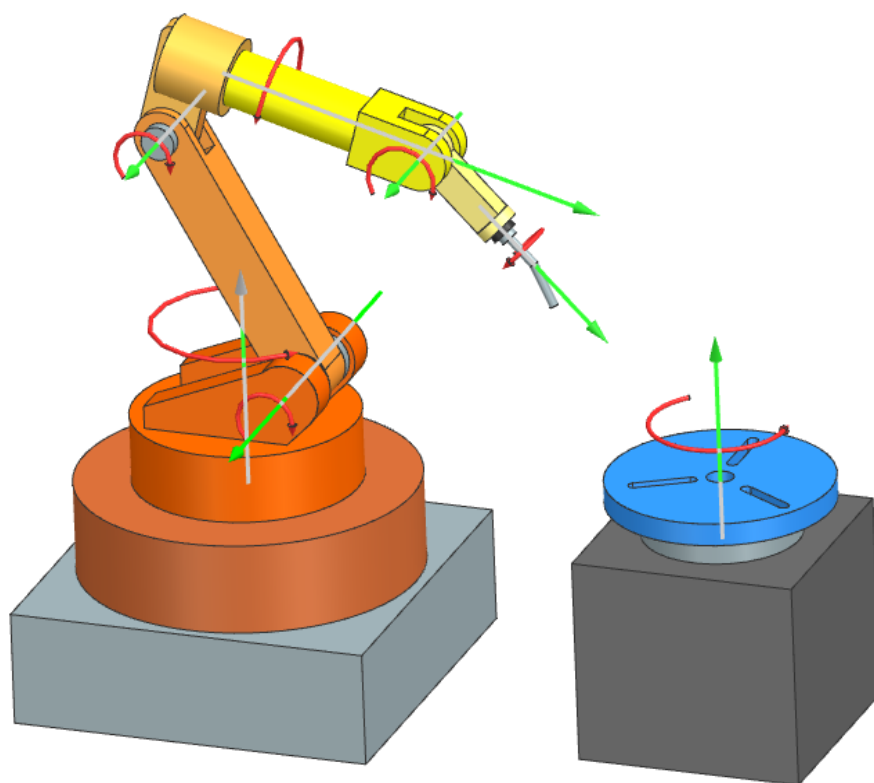
být prováděno v překrytém čase během svařování. Ještě více tato úspora vynikne v případě, že je polohovadlo schopné nést více přípravků najednou (viz 4.1.2). Samotné připojování přípravků musí být pak co nejpřesnější

Druhů polohovadel existuje celá řada, rozdělují se podle velikosti, přesnosti, nosnosti a v základu především podle počtu pohybových os a geometrie [5,6,14].

Otočné stoly

V principu se jedná o jednoosá polohovadla, která nacházejí četné využití i v jiných odvětvích, než je svařování – časté je např. jejich použití u obráběcích strojů.

Otáčení probíhá podél vertikální osy a jeho cílem je změnou pozice dílce zajistit snadný přístup robotu ke svarům. V případě, že svařenec nevyžaduje složitější polohování podle více os a je např. pouze potřeba provést jeho svařování nejprve na jedné a pak na druhé straně, představuje rotace podle svislé osy optimální řešení pro vykonání svařovací operace v rámci jednoho upnutí. Vzhledem ke své konstrukci jsou tato polohovadla vhodná pro těžké svařence. 3D kinematické schéma svařovacího robotu s otočným stolem je na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Robotické svařovací pracoviště s otočným stolem

Pohon otočných stolů může být buď přímý anebo nepřímý. U přímého pohonu je hřídel pohonné jednotky (elektromotoru) napojena přímo na otočnou část stolu. Pro tuto variantu se většinou používají vestavěné momentové motory – synchronní elektromotory s permanentními magnety poskytující velký krouticí moment a vysokou přesnost.

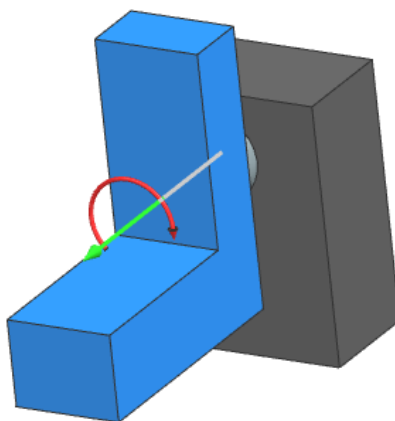
Stoly s nepřímým pohonem mají naopak mezi motorem a stolem umístěn převodový mechanismus. Nejčastěji se používají převody ozubenými koly nebo vačkovými mechanismy.

Dále je možné otočné stoly dělit podle počtu dosažitelných poloh. U stolů s pevným počtem poloh je převodový mechanismus konstruován tak, že během otáčení zaujímá stůl konečný počet poloh, přičemž přechody mezi nimi jsou velice rychlé.

Alternativou jsou otočné stoly programovatelné, umožňující zastavení v jakékoliv poloze. Toho je obvykle docíleno použitím servopohonu s frekvenčním měničem [5,8,9,10].

Jednoosá stolová polohovadla

Tento typ využívá k polohování rotaci kolem horizontální osy (obr. 4.6). Polohovadla této konstrukce (ať už jednoosá nebo s další přidanou rotační osou) jsou určena spíše pro lehčí a méně rozměrné dílce. Pohon zde může být různý – ruční, hydraulický nebo elektrický [5,12].



Obrázek 4.6: Jednoosé kolébkové polohovadlo

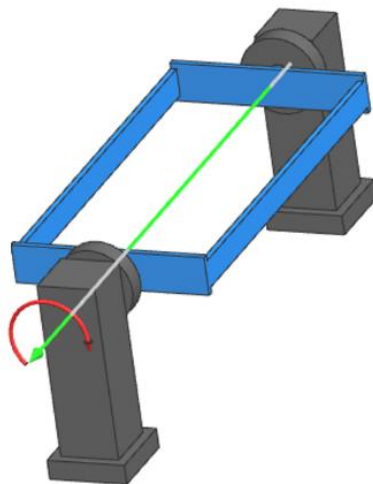
Čepová polohovadla

Mají podobnou kinematiku jako zmíněná jednoosá stolová polohovadla, tedy jednu vodorovnou osu rotace. Rozdíl spočívá v absenci stolu, svařovací přípravek je u tohoto typu upnut podobně jako u soustruhu. V případě menších a lehčích svařenců/přípravků

postačí jednostranné upnutí do vřetene. Naopak delší a těžké dílce vyžadují uchycení i na druhé straně.

Poháněná a podpůrná část mohou být buď spojeny společným rámem nebo mohou být tyto části odděleny – obr. 4.7.

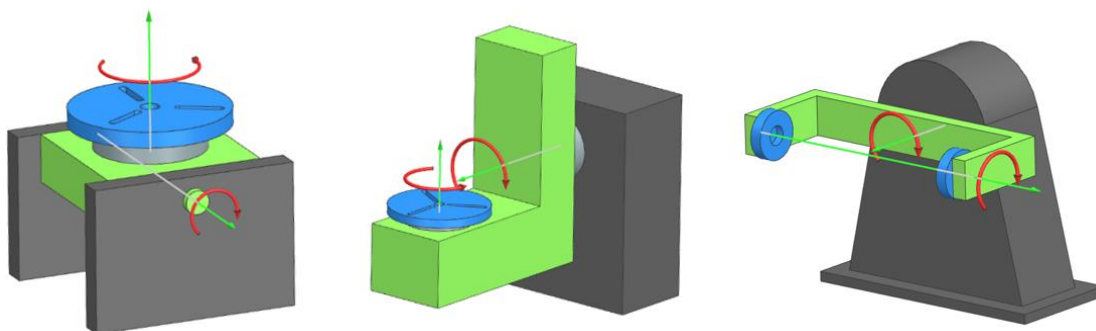
Způsob pohonu může být opět různý, časté je použití elektromotoru a programovatelné řízení rotace [5,8,15,19,20].



Obrázek 4.7: Čepové polohovadlo

Víceosá polohovadla

Jedná se o modifikovanou verzi horizontálních polohovadel s další přidanou osou nebo osami. Díky většímu počtu os jsou zvýšeny i kinematické možnosti polohování svařence – je umožněno jeho otáčení i sklápění. Tím je zajištěn přístup robotu i na hůře přístupná místa. Použita může být standardní koncepce kolébková, doplněná o rotační stůl, kolébková tvaru L nebo koncepce čepového polohovadla s druhou horizontální osou – tvar C (postupně zleva na obr 4.8).

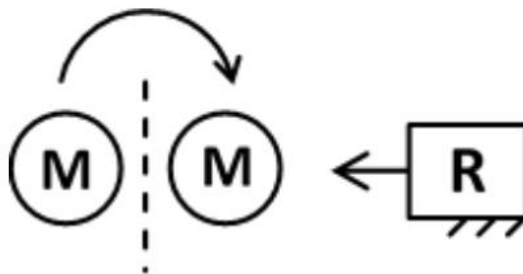


Obrázek 4.8: Možné koncepce víceosých polohovadel

Pro některé speciální aplikace se jako polohovadlo používá plnohodnotný druhý manipulační robot. Takové řešení ještě zvyšuje variabilitu možných prostorových nastavení přípravku s dílcem, proto se využívá zejména v situacích, kdy se svařuje tvarově komplikovaná součást s obtížně dosažitelnými svary. Nevýhodou je omezená nosnost druhého robotu a také přesnost, která je zhoršena kvůli přidání velkého počtu dalších pohybových os. Časté je však použití druhého robotu v případě, že slouží pouze k přidržení svařence v jedné poloze – např. u pracovišť s posuvným dopravníkem svařenců, která budou popsána později [5,8,15,16].

4.1.2 Svařovací robot a dvojnásobný manipulátor

Všechny typy polohovadel popsané v předešlé kapitole je možné realizovat i ve variantě se dvěma (nebo i více) stanovišti pro uchycení přípravků. Kromě pohybových os sloužících k otáčení přípravkem obsahují tyto manipulátory ještě centrální osu, podle které se po dokončení svařovací operace otočí celé polohovadlo. To umožňuje zkracovat časy mezi svařovacími operacemi, jelikož na jednom stanovišti může např. probíhat svařování robotem a na druhém mezitím vyjímání či zakládání jiného dílce z/do přípravku.



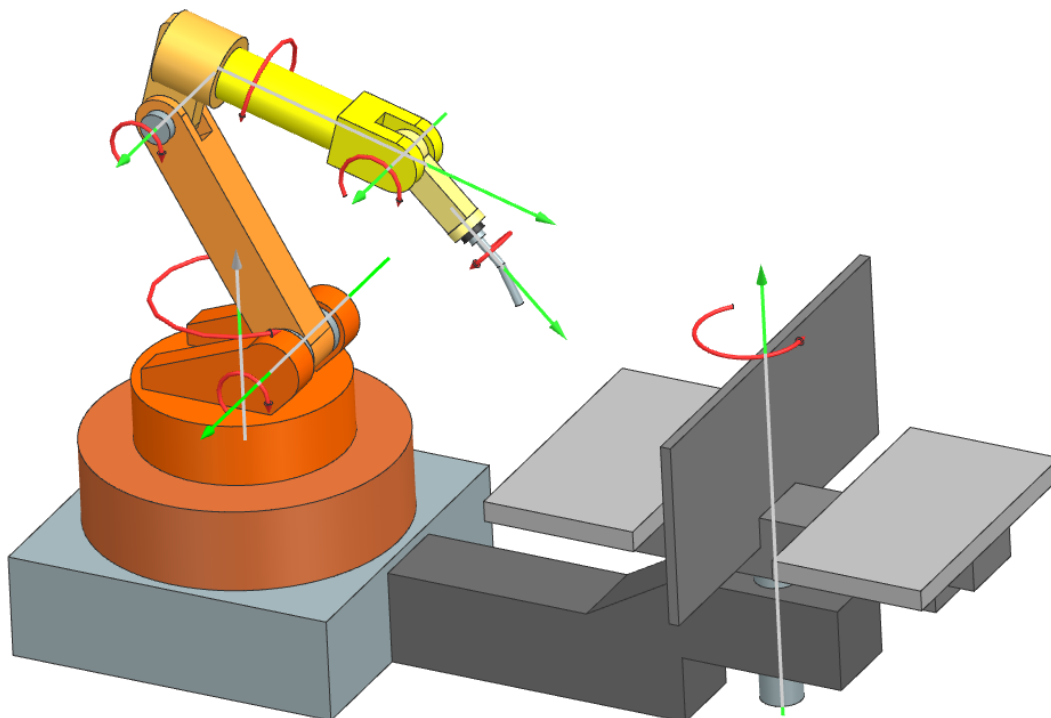
Obrázek 4.9: Schéma koncepce robot + dvojnásobný manipulátor [14]

V případě většího počtu stanovišť je pak možné svařovat na každém z nich zároveň jiným robotem, souběžně s tím vykládat a zakládat další přípravky apod. Díky vyšší produktivitě se vícenásobná polohovadla využívají zejména v sériové výrobě. Z důvodu bezpečnosti jsou jednotlivá pracovní stanoviště vždy oddělena zástěnou [5,8,15,16].

Dvojnásobná stolová polohovadla

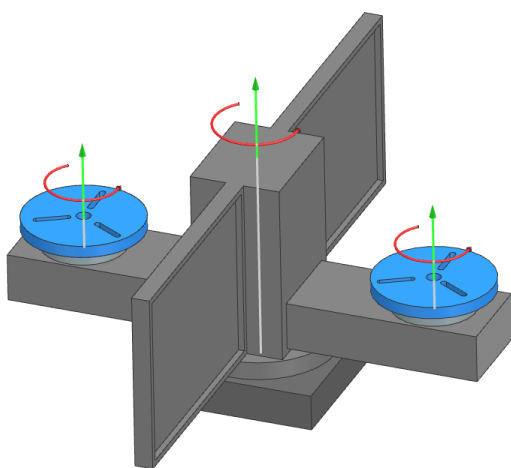
Příklad stolového polohovadla se dvěma stanovišti je na obrázku 4.10. V tomto případě jde o nejjednodušší koncepci, ve které jsou pracovní stoly pevné a rotace probíhá pouze

kolem vertikální centrální osy, kdy se polohovadlo otočí o 180° a robot započne svařování dalšího dílce (pokud polohovadlo obsahuje více než 2 stanoviště, otočí se po skončení operace vždy o příslušný úhel daný počtem stanovišť).

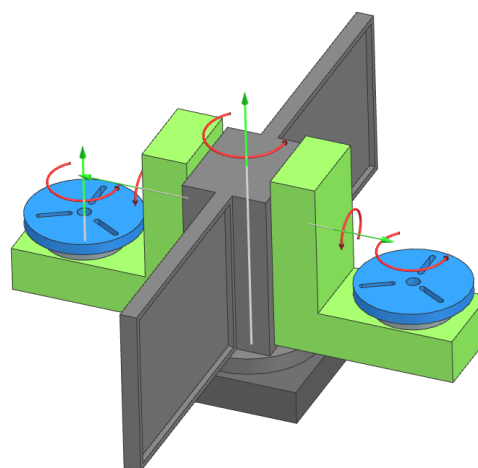


Obrázek 4.10: Robotické svařovací pracoviště s dvojnásobným pevným stolem

Dalšími variantami, vhodnými pro složitější svařence, jsou jednoosé či dvouosé polohování na každém stanovišti (obrázky 4.11 a 4.12) [5,8,15,16].



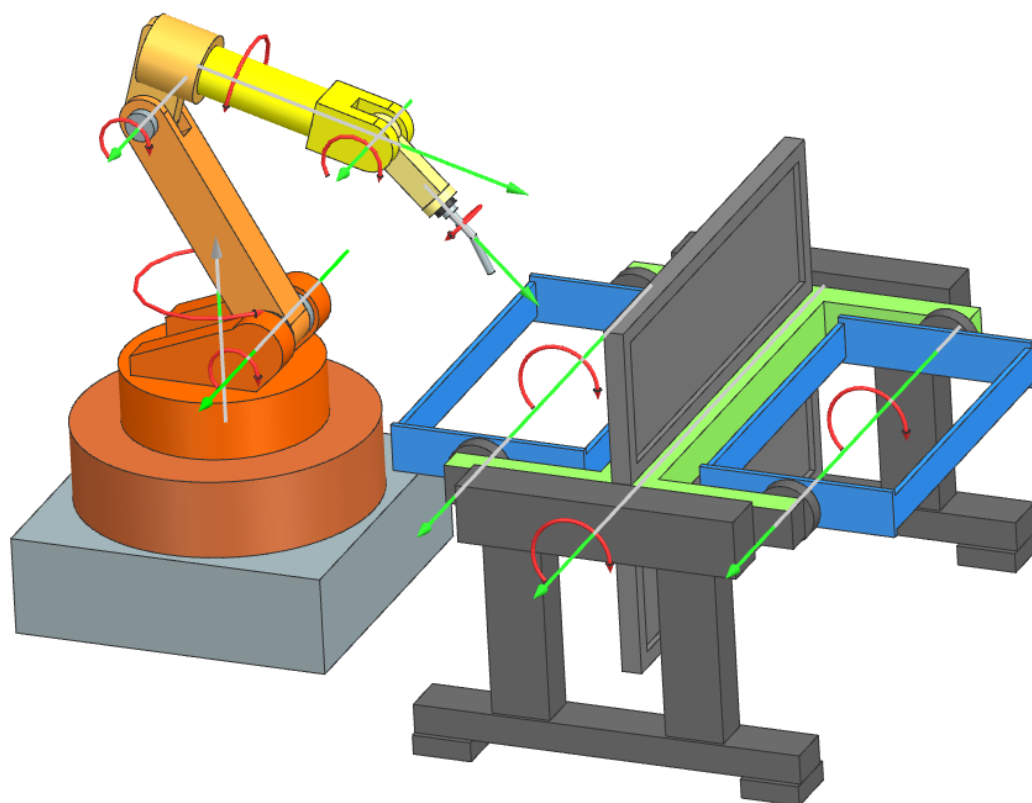
Obrázek 4.11: Dvojnásobný stolový manipulátor s jednoosým polohováním



Obrázek 4.12: Dvojnásobný stolový manipulátor s dvouosým polohováním

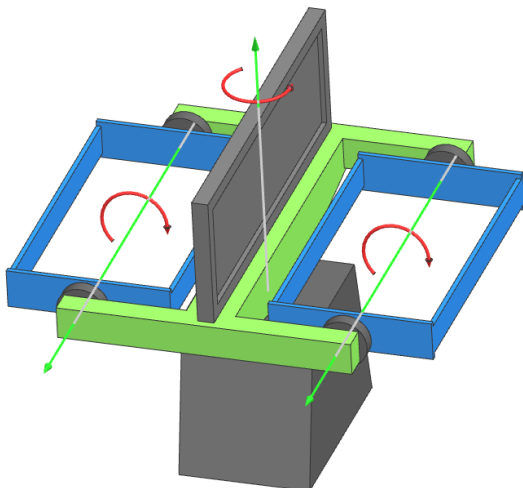
Dvojnásobná čepová polohovadla

Stejným způsobem mohou být zdvojena i polohovadla čepová. Centrální osa rotace zde může být buď horizontální nebo vertikální. Varianta s vodorovnou centrální osou je naznačena na obr. 4.13. Nevýhodou u této konstrukce je nutnost řešit kromě protáčených průměrů polohovacích os také celkovou výšku polohovadla, aby během centrálního otáčení nedošlo ke kolizi upnutého přípravku s podlahou.

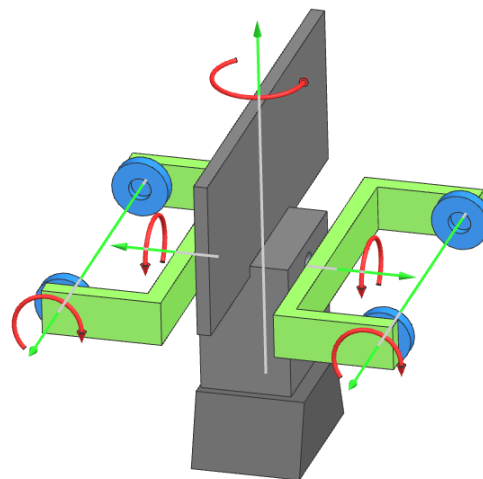


Obrázek 4.13: Robotické svařovací pracoviště s dvojnásobným čepovým manipulátorem

Typ s vertikální centrální osou ukazuje obrázek. 4.14. Jeho dvouosá varianta je pak v podstatě složena ze dvou polohovadel typu C na každé straně (obr. 4.15). U této koncepcie je délka upínaného přípravku značně omezena výškou polohovacích stanovišť nad podlahou. Pro delší svařence je nutné umístit manipulátor do větší výšky nad zemí [5,8,15,16].



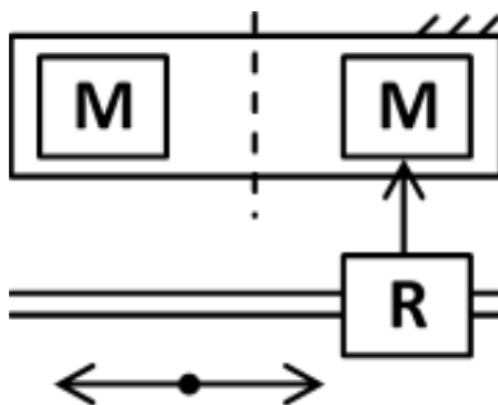
Obrázek 4.14: Dvojnásobný čepový manipulátor s jednoosým polohováním



Obrázek 4.15: Dvojnásobný čepový manipulátor s dvouosým polohováním

4.1.3 Polohovací manipulátor a posuvný robot

V případě, že je potřeba na dílci tvořit dlouhé svary nebo pokud kinematické možnosti robotu neumožňují dobrý přístup např. do krajních částí svařence, je vhodné umístit robot na pojezdovou dráhu s lineárním vedením.

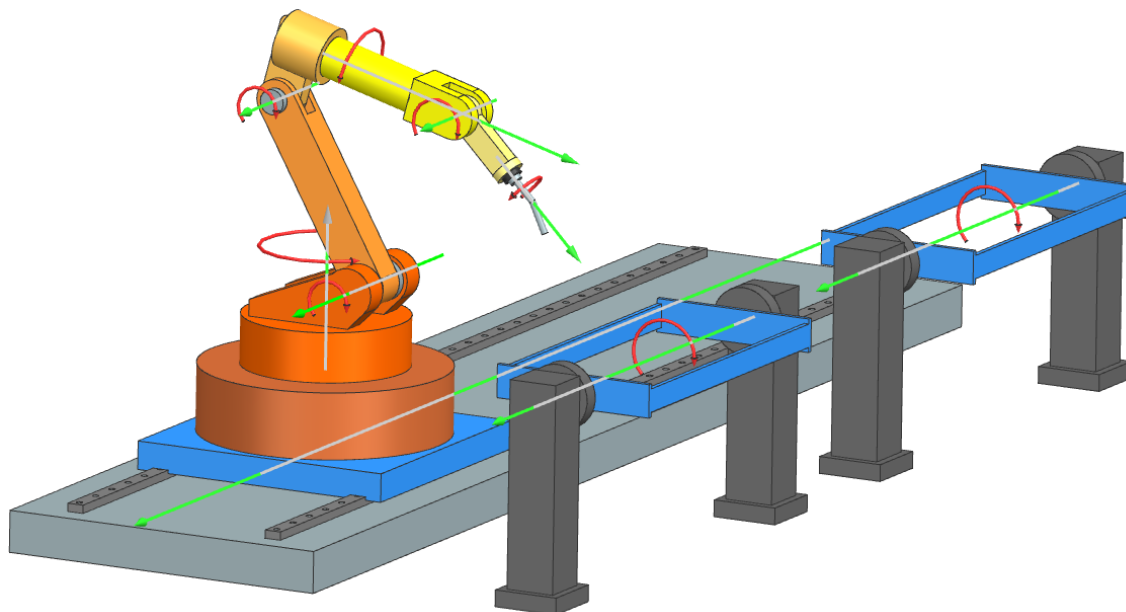


Obrázek 4.16: Schéma koncepce polohovací manipulátor + posuvný robot [14]

Tato přídavná lineární osa umožňuje, aby robot bez problémů obsáhl dílec po celé jeho délce a pokud je dostatečně dlouhá, je takto možné obsluhovat i více přípravků v rámci jednoho pracoviště. Jsou-li od sebe prostory jednotlivých polohovadel odděleny stěnou, lze např. současně na jednom přípravku svařovat a na druhém zakládat/vykládat jako v případě vícenásobných manipulátorů.

Přímočarý pohyb robotu se může realizovat buď na pojezdu (kinematické schéma na obr. 4.17) nebo na portálu, kde se robot pohybuje nad svařencem.

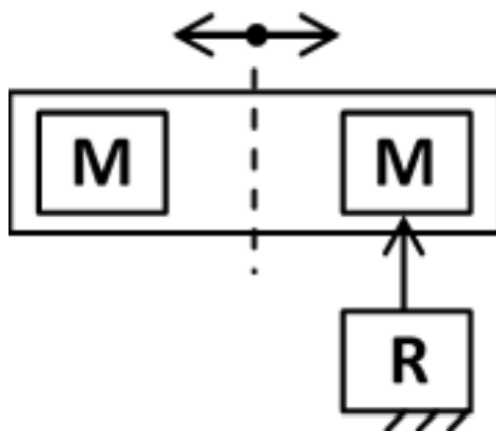
Pohon pojezdů je obvykle řešen rotačním servomotorem a ozubeným hřebenem. Důležité je zajistit spolehlivé vedení všech hadic a drátů k robotu pomocí energetického řetězu [5,8,11,15,16].



Obrázek 4.17: Robotické svařovací pracoviště s posuvným robotem

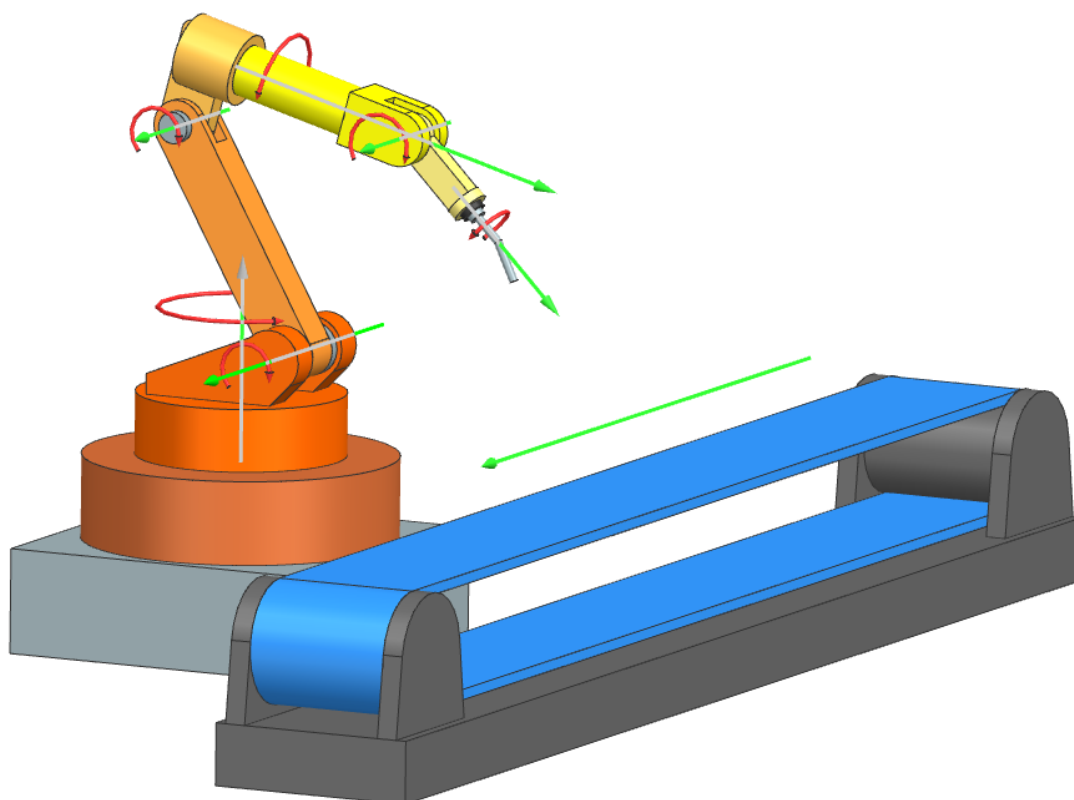
4.1.4 Svařovací robot a lineární manipulátor

Jinou možností zajištění lineárního polohování je posuv přípravků se svařenci – použití posuvových stolů, pásových dopravníků apod.



Obrázek 4.18: Schéma koncepce robot + posuvný manipulátor [14]

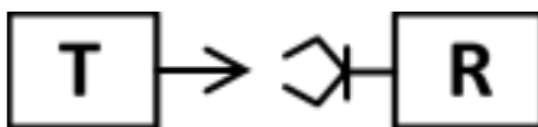
V sériové výrobě ve výrobních linkách (např. v automobilovém průmyslu) se často využívá dlouhých dopravníků, po kterých putují dílce mezi jednotlivými svařovacími stanovišti. V průběhu svařovací operace je možné lineární polohovadlo buď zastavit nebo použít přídatný manipulační robot, který přidrží dílec (nebo dílec v přípravku) na stanovišti a po dokončení svařování ho zase vrátí zpět na dopravník. Jednoduché schéma pracoviště s tímto typem polohování je na obr. 4.19 [14,15].



Obrázek 4.19: Robotické svařovací pracoviště s lineárním manipulátorem

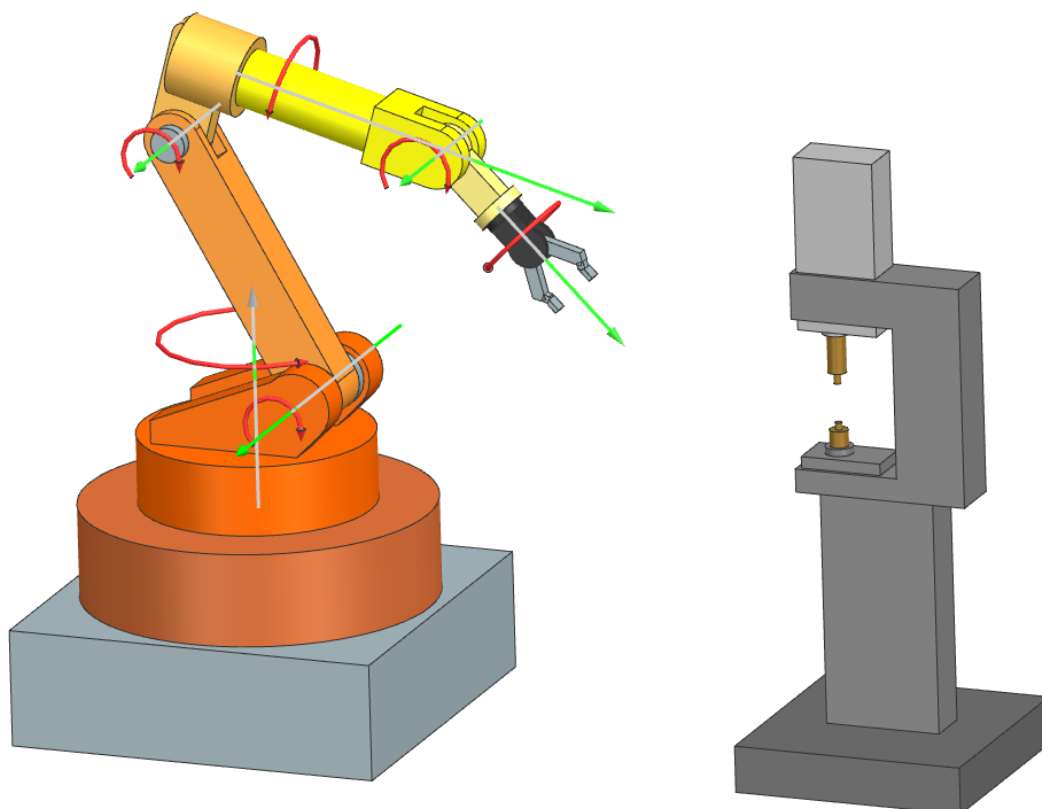
4.1.5 Stabilní svařovací automat a polohovací robot

Alternativní způsob polohování svařence představuje varianta, ve které je svařovací hlavice nepohyblivá a robot vybavený uchopovacím systémem (nebo přímo upínacím přípravkem na konci ramene) pohybuje dílcem kolem ní.



Obrázek 4.20: Schéma koncepce svařovací automat + polohovací robot [14]

Tato koncepce se často používá při odporovém svařování nebo při navařování matic, kdy robot napoložuje součást do pracovního prostoru stabilního svařovacího automatu (obr. 4.21). Robotizovaná svařovací buňka může pro různé operace využívat oba typy polohování, konkrétně u svařování plechových dílců jsou např. nejprve plechy svařeny dohromady svařovacím robotem s klasickým polohovadlem a poté mohou být ke svařenci dle potřeby navařeny matice na příslušném stacionárním automatu, do kterého je dílec nastaven manipulačním robotem [14].



Obrázek 4.21: Robotické svařovací pracoviště s polohovacím robotem a stabilním svařovacím automatem

4.1.6 Další typy polohovadel

Kromě již popsaných druhů polohovadel existují ještě další, používané pro specifické účely.

Kladková polohovadla

Používají se pro svařování rotačních dílců. Mechanismus svařencem otáčí kolem horizontální osy za pomoci alespoň dvou párů kladek, z nichž jeden musí být hnací. Průměr polohované součásti je nastavitelný v určitém rozsahu, a to buď posuvem

protilehlých kladek od sebe/ k sobě nebo jejich vyklopením oproti základně. Příklady kladkových polohovadel jsou uvedeny na obrázcích 4.22 a 4.23 [12,13].



Obrázek 4.22: Kladkové polohovadlo s posuvnými kladkami [60]



Obrázek 4.23: Kladkové polohovadlo s výklopnými kladkami [61]

Výložníkové sloupy

V případě svařování zvláště rozměrných součástí nemusí být pracovní rozsah svařovacího robotu vždy dostatečný. Pro tyto případy se využívají výložníkové sloupy, na jejichž rameno je svařovací robot umístěn. Sloupy mohou být konstruovány s pevnou (betonovou či ocelovou) základnou nebo pohyblivé (rotačně či přímočaře) – obr. 4.24.



Pevná základna



Rotační pohyb



Přímochařý pohyb

Obrázek 4.24: Typy výložníkových sloupů [62]

Časté je použití výložníkových sloupů v kombinaci s kladkovými polohovadly (obr. 4.25) [12].



Obrázek 4.25: Kombinace výložníkového sloupu a kladkového polohovadla [63]

4.2 Bezpečnostní prvky svařovacích pracovišť

Důležitou a nezbytnou součástí návrhu robotizovaného svařovacího pracoviště je zajištění jeho bezpečnosti. Jelikož při procesu svařování a automatickém pohybu robota vzniká pro lidskou obsluhu řada rizik, je nutné tato nebezpečí analyzovat a následně vybavit pracoviště takovými bezpečnostními prvky, které maximálně sníží možnost jakékoliv újmy na zdraví.

4.2.1 Normy a předpisy

K vyhodnocení možných rizik slouží právní předpisy, směrnice a normy, definující požadavky na bezpečné provozování příslušných typů pracovišť nebo zařízení.

Bezpečnost práce na robotizovaných pracovištích je právně ošetřena třemi základními typy dokumentů. Jsou to jednak právní předpisy EU a právní předpisy ČR (obě tyto skupiny stanovují spíše obecnější požadavky na ochranu zdraví, které je nutné splnit pro určité kategorie strojních zařízení) a dále pak normy předepisující požadavky na bezpečné provozování příslušných zařízení v různých úrovních obecnosti – celkové požadavky na strojní zařízení, požadavky na jednotlivé skupiny těchto zařízení nebo přímo pro konkrétní případy.

Příklady norem vztahujících se k robotizovaným zařízením jsou například:

- ČSN EN ISO 10218-1 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty

- ČSN EN ISO 10218-2 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace
- ČSN EN ISO 14119 Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu
- ČSN EN ISO 13857 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami [15,17,18]

U robotických pracovišť je rizikovou oblastí především tzv. nebezpečný prostor robotu, do kterého musí být v průběhu pracovní operace zamezen vstup obsluze. Detailní požadavky na bezpečnost robotu včetně výčtu potenciálních rizik jsou uvedeny v normě ČSN EN ISO 10218-1: Roboty a robotická zařízení. Konkrétními příklady rizik na robotickém pracovišti jsou např.:

- Elektrická nebezpečí (elektrický šok, popálení, náraz, propíchnutí, odření)
- Tepelná nebezpečí (popáleniny, výbuch, dehydratace)
- Nebezpečí hluku (narušení a ztráta sluchu, rovnováhy, vědomí)
- Nebezpečí vibrací (únava, neurologická poškození, cévní onemocnění)
- Nebezpečí záření (popáleniny, onemocnění)
- Nebezpečí látky (otrávení, popáleniny, vdechnutí kouřů a prachu)
- Ergonomická nebezpečí (únava, náraz, stres, ztráta vědomí)
- Kombinace nebezpečí (vnější vlivy na zdroji energie, obnovení dodávky energie po jejím spuštění, neočekávané spuštění) [13]

Aby nedošlo k opomenutí žádného rizika, je ještě před zajištěním potřebných bezpečnostních prvků pro provoz v souladu s normami u každého nového nebo změněného zařízení po provozovateli požadováno provést i samotnou identifikaci a poté zhodnocení možných nebezpečí. Požadavek na tuto analýzu je součástí evropské směrnice o bezpečnosti strojů 2006 / 42 / EC [15,1,18,24,25].

4.2.1 Ochranná zařízení

Ke zvýšení bezpečnosti robotizovaných pracovišť slouží několik typů ochranných prvků. Jejich úkolem je ve většině případů zabránit přístupu do nebezpečného prostoru

pracoviště, případně zastavení pracovních operací v případě narušení tohoto prostoru. Umístění bezpečnostních zařízení je vázáno zmíněnou normou ČSN EN ISO 13857, která definuje potřebné vzdálenosti těchto prvků k pohyblivým částem stroje (ty musí být bez přerušení ochranných prvků obsluhou nedosažitelné) [15,20].

Tlačítka nouzového zastavení

Jedná se o základní ochranné zařízení vyskytující se prakticky na všech strojích. Nouzová STOP tlačítka musí být umístěna na každém ovládacím panelu stroje tak, aby byla snadno přístupná a ovladatelná pro obsluhu i jiné osoby. Je třeba, aby jejich funkce byla nadřazena všem jiným funkcím stroje ve všech pracovních režimech. Konstrukčně se nejčastěji jedná o hříbovitá tlačítka, případně páky, tyče, dráty či lanka [15,20,21,25].



Obrázek 4.26: Tlačítka nouzového zastavení [64]

Pevné ochranné zábrany

Dalším základním bezpečnostním prvkem jsou pevné zábrany fyzicky vymezující nebezpečný prostor robotu a zabraňující přístupu obsluhy do těchto míst. Případný vstup je možný jen skrze dveřní systém vybavený spínačem, který při otevření automaticky zastaví všechny probíhající nebezpečné operace. Dalšími vstupními body jsou pouze otvory pro dopravníky a další zařízení.

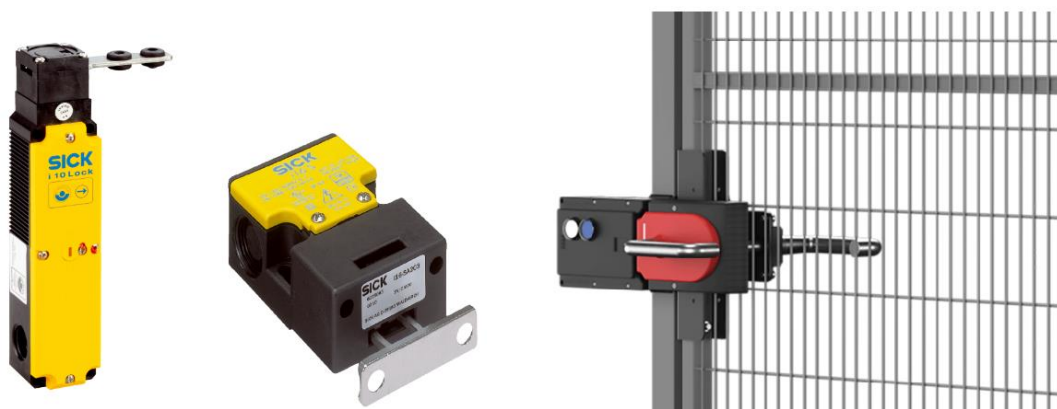
Pevné zábrany mohou mít podobu stavebnicového oplocení (ochranné klece) nebo neprůhledných stěn (ty nacházejí uplatnění např. ve svařovacích buňkách). Příklady obou variant jsou na obrázku 4.27 [15,22,23,25,26].



Obrázek 4.27: Pevné zábrany robotického pracoviště (ochranná klec - nVenia, pevné stěny – ABB) [65]

Bezpečnostní dveřní systémy

Jedná se o součást pevných zábran a jejich úkolem je zamezit vstupu do nebezpečného prostoru pracoviště během jeho chodu. Dále pak zabráňují samovolnému uzamčení dveří, pokud se obsluha v tomto prostoru nachází. Mezi ochranné dveřní systémy patří bezpečnostní dveřní spínače, bezpečnostní zámky a bezkontaktní spínače. Jako pojistku mají všechny bezpečnostní zámky na vnitřní straně prostoru pracoviště nainstalováno tlačítko nouzového zastavení pro případ, že by došlo ke spuštění pracovní operace a obsluha zůstala zamčena uvnitř nebezpečného prostoru [15,19,20].



Obrázek 4.28: Bezpečnostní dveřní systémy [66,67,68]

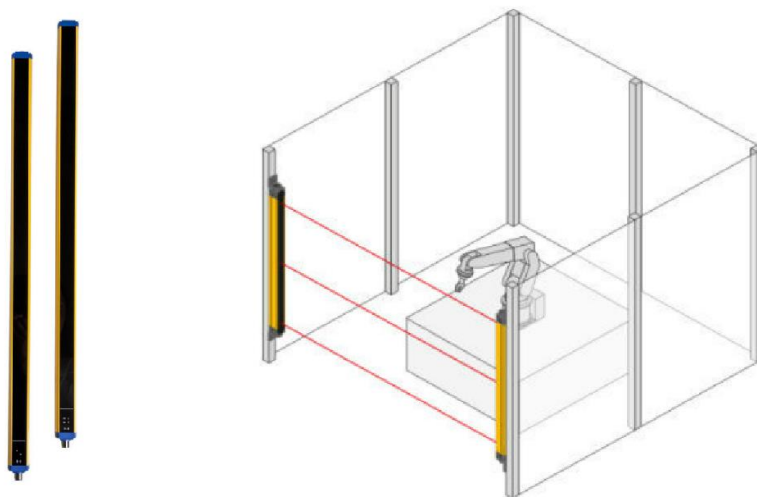
Bezpečnostní světelné závory

Zajištění nebezpečného prostoru pracoviště proti vniknutí osob či předmětů je možné také za pomoci světelných bezpečnostních závor. Ty fungují na principu světelných paprsků mezi vysílačem a přijímačem. Pokud je paprsek přerušen, dojde k vyslání signálu do řídicího systému a následnému vypnutí nebo zpomalení pracovních pohybů uvnitř pracoviště.

Takto mohou světelné závory sloužit jako alternativa nebo doplnění k pevným bezpečnostním zábranám (v tomto případě jsou instalovány v horizontální poloze), eventuálně mohou sloužit k trvalému monitorování přítomnosti obsluhy nebo objektů v určitém prostoru (instalace ve vertikální poloze). Závory jsou vyráběny v různých velikostech a s různými dosahy paprsků. Norma ČSN EN ISO 13855 pak definuje tzv. bezpečnou vzdálenost paprsků závory od nebezpečného prostoru pracoviště. Ta je určena jako:

$$S = (K \cdot T) + C \quad (4.1)$$

Kde K představuje přístupovou rychlost lidského těla (1600 nebo 2000 mm/s), T čas zastavení systému zařízení a C dodatečnou vzdálenost danou rozlišením optoelektrického ochranného zařízení a dalších okolností (0 až 1200 mm) [15,22,25,26].

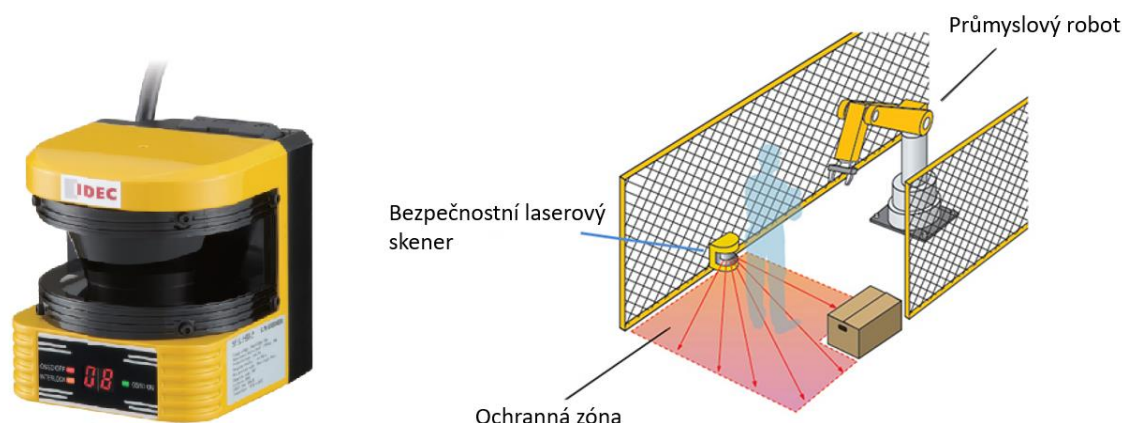


Obrázek 4.29: Bezpečnostní světelné závory [69]

Bezpečnostní laserové skenery

Pro detekci přítomnosti obsluhy v daném prostoru je možné využít také bezpečnostní laserové skenery pracující na principu vysílání impulsního infračerveného paprsku fotodiodou. Tento paprsek prochází optickou soustavou a poté dopadá na otočné zrcadlo, které ho vychýlí tak, aby v prostoru vymezoval ochrannou zónu ve tvaru kruhové výseče. Paprsek se následně odráží od osob a objektů, které se v detekční nacházejí. Pokud dojde k přerušení a vychýlení paprsku, vyhodnotí se na základě měření doby letu světleného impulsu přítomnost cizího objektu a následně je vyslán povel např. k zastavení operací

na pracovišti. Laserový skener bývá nejčastěji umístěn 300 mm nad podlahou [19,23,25,14,26].

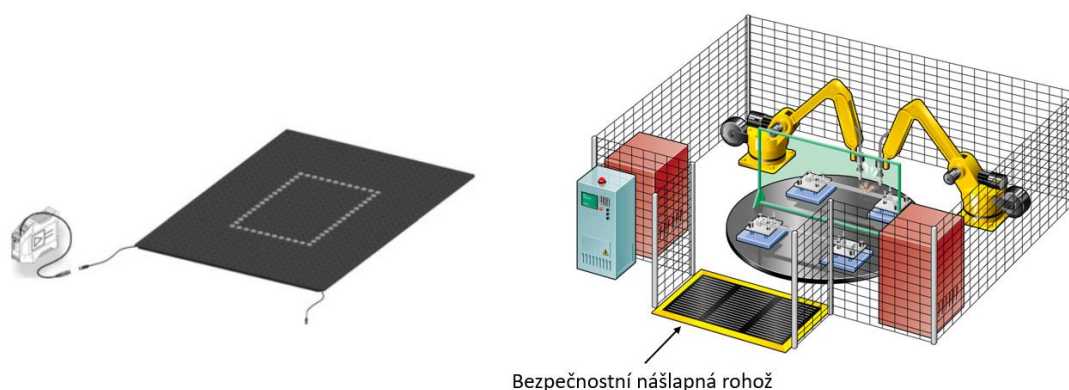


Obrázek 4.30: Bezpečnostní laserový skener [70,71]

Nášlapné rohože

Bezpečnostní nášlapné rohože slouží k zabezpečení podlahových ploch v okolí nebezpečného prostoru pracoviště proti vstupu, případně k detekci obsluhy v těchto oblastech. Použit je lze v situacích, kde jsou jiné druhy bezpečnostních prvků nepraktické, nedostatečné či nepoužitelné. Nebo mohou být využívány společně s nimi jako sekundární způsob ochrany.

Rohože obsahují tlakové čidlo, které se při našlápnutí aktivuje a vyšle signál do řídicího systému. Kvůli bezpečnosti obsluhy bývá povrch rohoží protiskluzově ošetřen [19,26].



Obrázek 4.31: Bezpečnostní nášlapné rohože [72,73]

Odsávací zařízení

Jiným, ale neméně důležitým bezpečnostním prvkem jsou zařízení sloužící k odsávání škodlivých látek vznikajících při pracovních (např. svařovacích) operacích. Jejich úkolem je zajistit kvalitu ovzduší ve výrobní hale – jednak z důvodu ochrany zdraví zaměstnanců a jednak kvůli zabránění pronikání nebezpečných mikročástic k mechanismům výrobních strojů.

Konkrétně při svařovacích operacích se do vzduchu dostávají výpary s četnými chemickými sloučeninami, jiskry, a další škodlivé částice. Znečištěný vzduch by měl být ideálně odsáván v co největší blízkosti k samotnému svařovacímu procesu. Odsávání probíhá pomocí ventilátoru spojeného s elektromotorem a následně je vzduch dopraven k filtračnímu zařízení schopnému zachycovat částice o velikosti v řádu mikrometrů. Po přefiltrování může být vzduch buď odveden pryč z budovy, nebo přiváděn zpět do výrobní haly.

Odsávací potrubí bývá u svařovacích operací kvůli ochraně filtrů vybaveno tzv. lapačem jisker, což je zařízení sloužící k odstředění jisker směrem do stěn potrubí [26].



Obrázek 4.32: Odsávací zařízení robotizované svařovací buňky [74]

5 Výběr modelového dílce a koncepce pracoviště

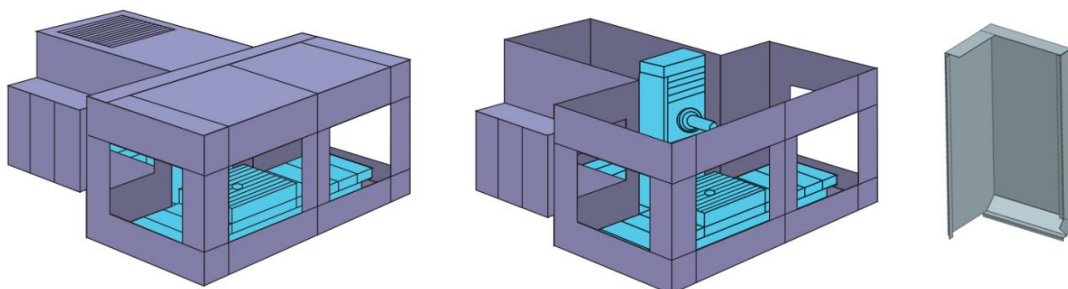
Jelikož je práce soustředěna na návrh svařovacího pracoviště a vzorového přípravku pro konkrétní typ komponent (plechové dílce obráběcích strojů), bylo dalším úkolem provést výčet typických skupin těchto dílců, popsat specifika svařování tenkých plechů a následně vybrat jeden modelový dílec pro další práci a určit pro něj vhodný postup (polohu) svařování. Na základě poznatků získaných z rešeršní části pak mohla být navržena základní koncepce pracoviště, která umožňuje svařování modelového dílce zvoleným postupem, a která je celkově vhodná pro práci s plechovými dílci s parametry vymezenými zadáním.

5.1 Typy plechových dílců

Obráběcí stroje obsahují celou řadu svařovaných tenkostěnných dílců vyráběných z plechů různých tloušťek. Jedná se o ochranné krycí prvky (stacionární i pohyblivé kryty), dále dveře, nádrže a další pomocné prvky a přípravky sloužící např. k upínání příslušenství stroje.

Vnější krytování strojů tvoří tzv. kapotáže – nepohyblivé pevné kryty. Jejich funkce je především ochranná. Zejména chrání obsluhu stroje před rizikovými vedlejšími produkty obrábění (odletující třísky, rezná kapalina, hluk, aerosoly) a společně s dveřmi zabraňují zásahům člověka do pracovního prostoru a jiných nebezpečných částí stroje, jako jsou pohyblivá vedení nebo elektrické systémy. Vzhledem ke své důležité roli v celkové bezpečnosti stroje musejí vnější kryty vyhovět příslušným normám formulujícím přesné bezpečnostní požadavky (ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika). Kromě ochrany však vnější opláštění vytváří také celkový design stroje [31].

Kapotáže se konstruují ze samonosných sestavných panelů z nejčastěji ocelových plechů, z nichž některé mohou být osazeny průhlednými okny. Příklady krycích vnějších panelů jsou na obrázku 5.1 [28].



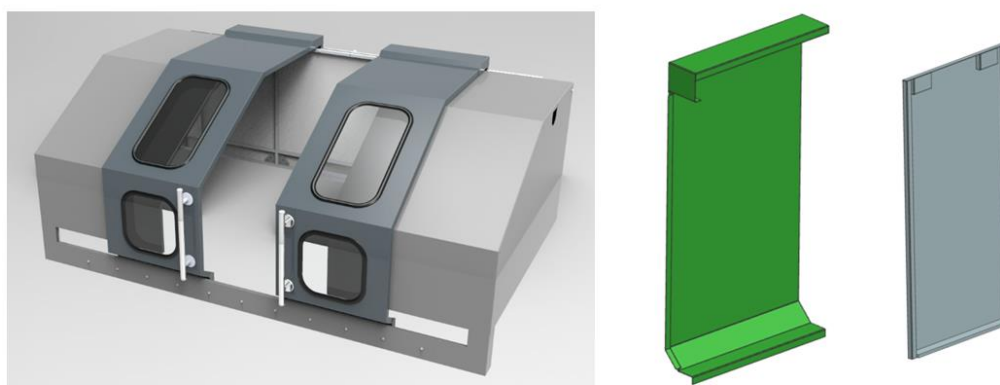
Obrázek 5.1: Vnější krytování obráběcích strojů [75]

Pracovní prostor může být kapotáží uzavřen buď úplně nebo jen částečně. V případě menších strojů jsou kapotáže zpravidla navázány na rám stroje a pracovní prostor bývá v dnešních moderních provozech téměř vždy zcela uzavřený – tím je výrazně zlepšena celková ochrana před únikem jakýchkoliv elementů do okolí stroje a je značně redukován hluk (plechové panely mohou také obsahovat protihlukovou výplň).

U velkých strojů bývá krytování naopak obestavěné kolem stroje a umístěné na vlastním betonovém základu jako samostatná jednotka. V tomto případě není vždy provedeno úplné uzavření pracovního prostoru, často kvůli potřebě manipulovat s těžkými a rozměrnými obrobky – z tohoto důvodu se využívá tzv. open-top kapotáží (bez zastřešení).

Výrobou kapotáží obráběcích strojů se zabývá např. česká firma Hestego.

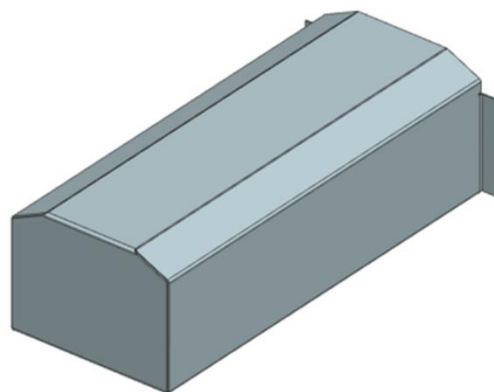
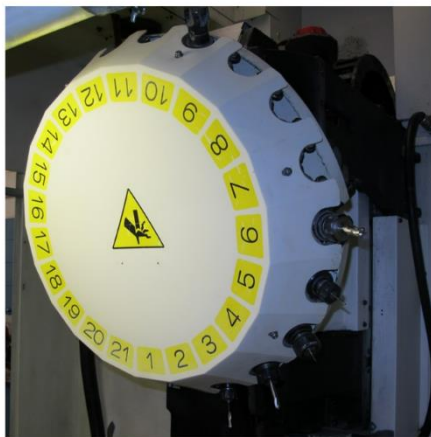
Kapotáž stroje musí být opatřena také posuvnými dveřmi, které umožňují přístup obsluhy a obráběných polotovarů do pracovního prostoru. Dveře musí být dostatečně široké a umístěné tak, aby byla možná manipulace s obrobkem uvnitř pracovního prostoru. V případě umístění rozměrných, těžších polotovarů je výhodné, pokud dveře zasahují i do střešní části kapotáže a při otevření tak umožňují přístup jeřábu. Kromě hlavních posuvných dveří může stroj obsahovat i další menší dvířka pro servisní otvory zajišťující např. přístup k výměně nástrojů (obr. 5.2).



Obrázek 5.2: Dveřní systémy obráběcích strojů [76]

Pro vizuální kontrolu výrobních operací bývají dveře vybaveny průzorovými okny z průhledných bezpečnostních materiálů odolávajících průrazu (např. z polykarbonátu) [27,28,29,30].

Kromě celkové vnější kapotáže se využívá také krytování dílčích mechanických částí stroje, jako jsou zásobníky nástrojů, saně, vřeteníky apod (obr. 5.3).

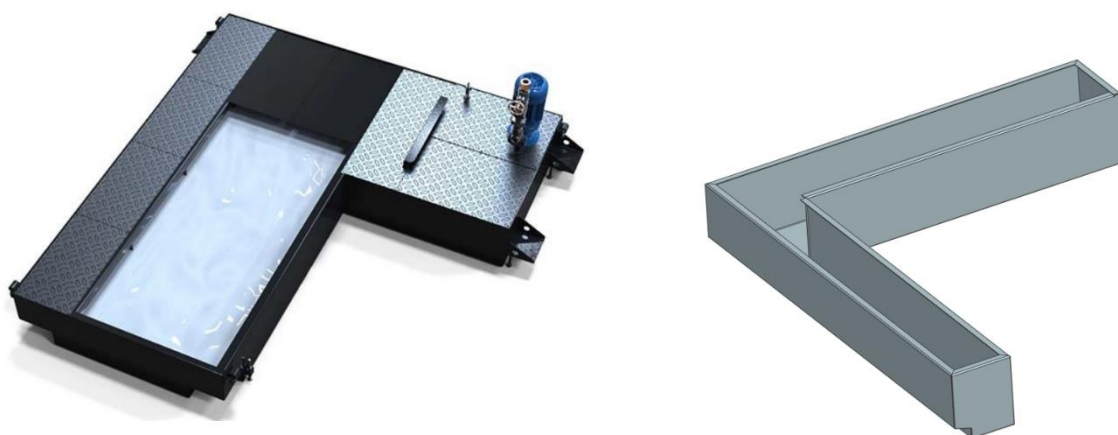


Obrázek 5.3: Krytování dílčích částí stroje [77]

Samostatnou skupinu vnitřního krytování pak představují pohyblivé, např. teleskopické kryty – konstrukcí těchto prvků se však tato práce nezabývá. Alternativou ke stacionárním kapotážím jsou tzv. vedené kabiny. Ty jsou konstruovány podobně jako pevná kapotáž, na rozdíl od ní jsou však pevně spojeny s jednou z lineárních os stroje a během výrobního procesu se pohybují společně se saněmi, přičemž neustále vymezují chráněný prostor kolem stolu s obrobkem. Tato koncepce nachází využití především při obrábění dlouhých, rozměrných polotovarů, např. u vodorovných vyvrtávacích strojů nebo také strojů pro zpracování dřevěných desek [29,30].

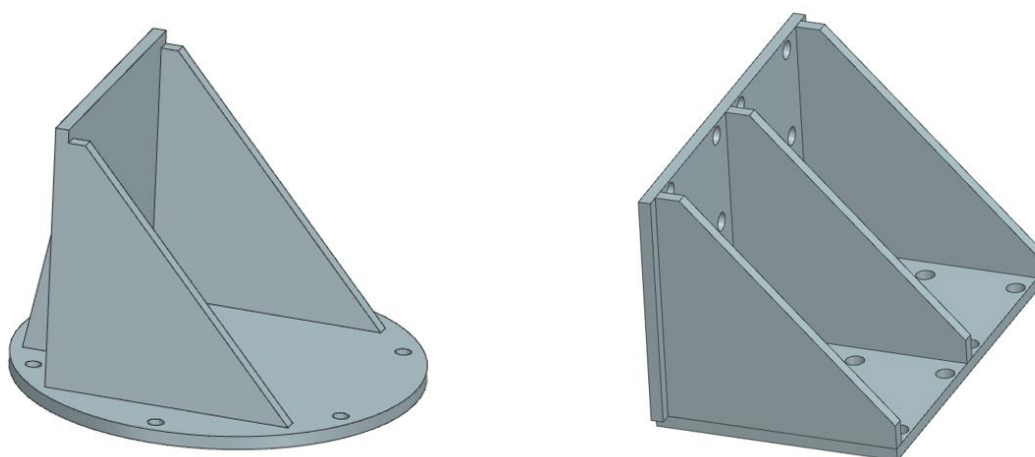
Jak už bylo zmíněno, nejčastěji používaným materiálem pro výrobu krytování jsou ocelové plechy. Ty jsou, zejména pro malosériovou výrobu, ekonomicky nejvýhodnější. Plechové kapotáže mohou být jednoplášťové nebo i víceplášťové s případnou výplní z protihlukového materiálu. Při zvláštních požadavcích na zvýšení bezpečnosti, snížení hmotnosti nebo snižování výrobních nákladů mohou být namísto oceli použity jiné materiály - např. hliník, nerezová ocel, GFK laminát, technické tkaniny nebo sendvičové materiály [27].

Z ocelových plechů se vyrábějí také nádrže na chladicí kapalinu, které bývají umístěny ve spodní části stroje. Vzhledem ke kontaktu s kapalinou je v případě plechů z běžné oceli nutné zajistit odpovídající povrchovou úpravu, případně je možné použít k výrobě plechy z nerezové oceli. Firmy specializující se na konstrukci nádrží (např. Hennig) většinou nabízejí návrh na míru zákazníkovi s možností přizpůsobení tvaru a rozměrů nádrže, tloušťky plechu a dalšího příslušenství (dělicí příčky, krycí desky, čerpadla, měrky hladiny, filtry apod.). Běžné jsou nádrže tvaru L, tvaru T a čtvercového/obdélníkového tvaru (obr 5.4) [35].



Obrázek 5.4: Nádře obráběcích strojů [78]

Různorodé upínací a pomocné prvky k obráběcím strojům se rovněž vyrábějí svařováním z plechů. Tyto dílce slouží většinou jako nosiče dalšího příslušenství, např. hadic, elektrických a hydraulických zařízení (obr.5.5). Tyto dílce však často bývají konstruovány z plechů větší tloušťky, kolem 10 mm, a práce se jimi proto detailněji nezabývá. Pozornost je věnována tenkostěnným dílcům o tloušťce cca 3 mm, tedy především krytování a nádržím, z nichž bude následně také vybrán modelový dílec pro konstrukci vzorového přípravu.



Obrázek 5.5: Pomocné plechové prvky obráběcích strojů

5.2 Svařování tenkostěnných dílců

Proces výroby svařenců ze slabých plechů s sebou přináší jisté specifické požadavky související s přípravou výroby, vzájemným ustavením dílců i samotnou technologií svařování. Pojem „tenký plech“ není přímo definován, v praxi se většinou za tenké považují materiály o tloušťce do 3 mm. Přesná definice však není nutná - podstatné je, že

se snižující se tloušťkou plechu vzrůstají nároky na přesnost vzájemného napolohování dílců před svařováním a také se zvyšuje náchylnost dílců k deformaci silovými a tepelnými účinky, přičemž míra deformace souvisí i s použitým materiálem (nerezové oceli se např. deformují více než běžné oceli uhlíkaté). Přesnost vzájemného sestavení plechů je pro kvalitu svarových spojů klíčová, jelikož u velmi tenkých plechů může i mírná odchylka způsobit na výsledném svaru vady. V zajištění potřebné přesnosti a opakovatelnosti ustavení dílců hrají hlavní roli právě svařovací přípravky, do kterých jsou dané dílce založeny [34,35].

Možnost přesného ustavení dílců ovlivňuje nejen způsob upnutí, ale už samotný způsob nadělení plechů. Je proto třeba brát v potaz, jakou technologií je dělení prováděno a zvážit její specifika.

Často používanou technologií je stříhání, které je sice produktivní, rychlé a vcelku přesné, avšak z hlediska přesnosti při následném svařování může být poměrně problematické. Na hranách stříhaných plechů totiž mohou vznikat otřepty. Především u užších stříhů může dojít ke zkroucení výstřížků a u profilů či trubek zase k promáčknutí horní hrany.

Jiným způsobem dělení plechů jsou různé druhy řezání. Řezat je možné plamenem, což však není pro tenké plechy vhodná technologie – dochází ke značnému teplenému ovlivnění materiálu a tím pádem k velkým deformacím, navíc není dosaženo potřebné přesnosti na rezné hraně. Lepších výsledků je možné docílit plazmovým řezáním, avšak z hlediska kvality řezu je nejlepší technologií řezání laserem. Při použití laseru je zajištěna vysoká přesnost při současných minimálních tepelných deformacích a vysoké rychlosti (a tedy i produktivitě) řezání. Technologii zcela bez tepelných vlivů s přesností srovnatelnou s laserem představuje řezání vodním paprskem. Zde je však nevýhodou nižší rychlost – jde tedy o nákladnější metodu [35].

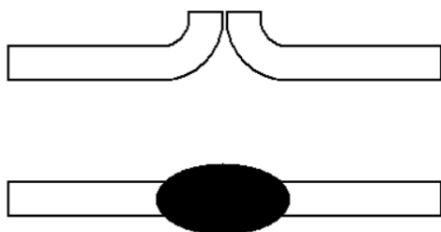
Co se týká samotné technologie svařování, využívá se různých variant v závislosti na materiálu a tloušťce plechu.

Poměrně často je využívána metoda MAG. Ta umožňuje relativně rychlý proces svařování s vytvořením kvalitních svarů s vysokou pevností. Dále vede k menším deformacím a je méně citlivá na nepřesné vzájemné ustavení dílců. Při velmi nízkých tloušťkách svařovaných plechů je však použití MAG obtížnější. Především kvůli zvýšenému riziku propalu a propadnutí svarové lázně. Parametry svařování touto metodou proto bývají stanoveny až od cca 1,5 mm tloušťky materiálu. To však nevylučuje použití MAG svařování i pro tenčí plechy (až 0,5 mm), v takovém případě je však nutné

použití speciálních svařovacích zdrojů. Pro dosažení co nejužší tepelně ovlivněné oblasti se nejčastěji využívá svářecích drátů o průměru 0,8 mm (max. 1 mm). Ochranná atmosféra se volí tak, aby bylo dosaženo stabilního oblouku s nízkým rozstříkem, čehož lze docílit nízkým obsahem aktivní složky v ochranném plynu. Pro uhlíkové oceli se používají směsi s vyšším obsahem argonu, např. Stargon C8 (92 % Ar a 8 % CO₂), případně Stargon PB (95 % Ar, 3 % CO₂ a 2 % O₂). Úzký závar vzniklý využitím vhodné ochranné atmosféry může významně snížit riziko propalu [34,35].

Další metodou využívanou pro svařování tenkostěnných dílců je TIG. V případě uhlíkových ocelí se používá spíše méně, zejména při zvláštních nárocích na kvalitu svarového spoje. Nevýhodou je nižší produktivita a vyšší nároky na přesnost než u MAG. Své uplatnění nachází TIG především u svařování hliníkových slitin a austenitických ocelí. Korozivzdorné austenitické oceli jsou totiž častým materiálem výrobků pro chemický nebo potravinářský průmysl, kde jsou zvýšené požadavky na kvalitu svarových spojů a jejich plynulý přechod do základního materiálu, což TIG zaručuje. Jako ochranný plyn se používá argon, eventuálně argon s malou příměsí vodíku, který přispívá k tekutosti svarového kovu a hladkosti svaru.

Robotizace svařování metodou TIG je náročnější z důvodu vysokých nároků na přesnost sestavení plechů (zhruba poloviční tolerance oproti MAG). Je-li svařování prováděno bez přídavného materiálu, je požadovaná přesnost ještě vyšší. Proto se v tomto případě přistupuje k tzv. lemovému svaru (obr. 5.6) [37,38,39,40,36].



Obrázek 5.6: Schéma lemového svaru [36]

Lemy jsou vytvořeny ohybem okrajů plechu do pravého úhlu směrem ke svařovacímu hořáku. Při následném svařování se lemy roztaví a vytvoří svarovou lázeň s dostatkem materiálu pro spolehlivé spojení obou plechů. Svařování bez přídavného materiálu má tu výhodu, že se v místě svaru zachovává chemické složení svařovaných dílců bez vnesení jiných prvků a tím pádem se zde nemění ani materiálové vlastnosti. Častěji se však přistupuje ke svařování s přídavným materiálem ve formě drátu se složením co nejbližším svařovanému materiálu [36].

Poměrně novou alternativu svařování tenkých plechů představuje technologie CMT (Cold metal transfer) nabízená firmou Fronius. V základu se jedná v podstatě o modifikovaný proces MIG/MAG, který se však vyznačuje velmi nízkým vnosem tepla a mimořádně stabilním obloukem. Při běžném obloukovém svařování dochází k pohybu drátu směrem k dílci, dokud nedojde ke zkratu. Následný vzestup proudu způsobí přerušování zkratu a znovuzapálení oblouku. Důsledkem vysokého zkratového proudu je značné teplotné zatížení svařovaného dílce a nekontrolovaným přerušováním zkratu dochází k rozstříkům.

Technologie CMT tyto nevýhody odstraňuje. Princip metody spočívá v oscilačním pohybu drátu. Drát se pohybuje vpřed k dílci právě do chvíle, kdy nastane zkrat. Digitální regulace procesu tento zkrat rozpozná, drát je následně zatažen zpět a zkrat je přerušen. Celý proces se poté opakuje. U CMT tedy nedochází k přerušování zkratu působením proudu, ale zpětným zatažením drátu, které, spolu s povrchovým napětím tavné lázně, podpoří uvolnění kapky. Díky takto kontrolovanému přerušování zkratu je možné udržovat zkratový proud na nízké úrovni. Výsledkem je téměř bezrozstříkové svařování s minimem vneseného tepla, což je u tenkých plechových dílců velmi žádoucí. Přestože se tato práce detailně nezabývá samotnou technologií svařování, na navrženém pracovišti se počítá právě s použitím metody CMT.

Kromě svařování tenkých plechů nachází CMT uplatnění také např. při bezrozstříkovém pájení či spojování oceli a hliníku [80].

Kromě zmíněných metod obloukového svařování se ke svařování tenkostěnných dílců využívají i další technologie. Velmi tenké plechy se mohou svařovat laserem, který díky velmi malému množství tepla vneseného do materiálu minimalizuje tvarové deformace. Na druhou stranu je však vzhledem k nízkým tloušťkám dílců vyžadována mimořádná přesnost přípravků. Dalšími možnými metodami jsou např. plazma, mikroplazma nebo pájení. Těmito technologiemi se ale tato práce nezabývá [32,33,35].

Problémem, který je však všem způsobům svařování plechů společný, je zajištění dostatečné přesnosti vzájemné polohy dílců. Ta je dána jednak způsobem nadělení samotných plechů a kvalitou svařovaných hran, a jednak vhodnou konstrukcí svařovacího přípravku. Pro zajištění fixní polohy plechů bez rizika nepřijatelných deformací během svařování je doporučeno dodržovat několik zásad.

Upnutí by mělo být provedeno tak, aby šířka mezery mezi plechy byla po celé délce svarového spoje konstantní a pokud možno co nejmenší. Tenké plechy je dobré upínat na kovovou podložku, která bude odvádět co nejméně tepla. Pro dílce s nízkou tepelnou

vodivostí jsou vhodné masivnější přípravky, dílce s vysokou tepelnou vodivostí je pak vhodné upínat na podložky tvarované tak, aby se minimalizoval přestup tepla. Pro zabezpečení přesného sestavení je možné dílce před vlastním svařováním nastehovat krátkými svary [36,36].

5.3 Volba dílce a vhodné koncepce pracoviště

Dle zadání bylo cílem navrhnout a zkonstruovat přípravek pro jeden konkrétní plechový dílec obráběcího stroje s následujícími parametry:

Maximální úhlopříčná délka (včetně přípravku): 2200 mm

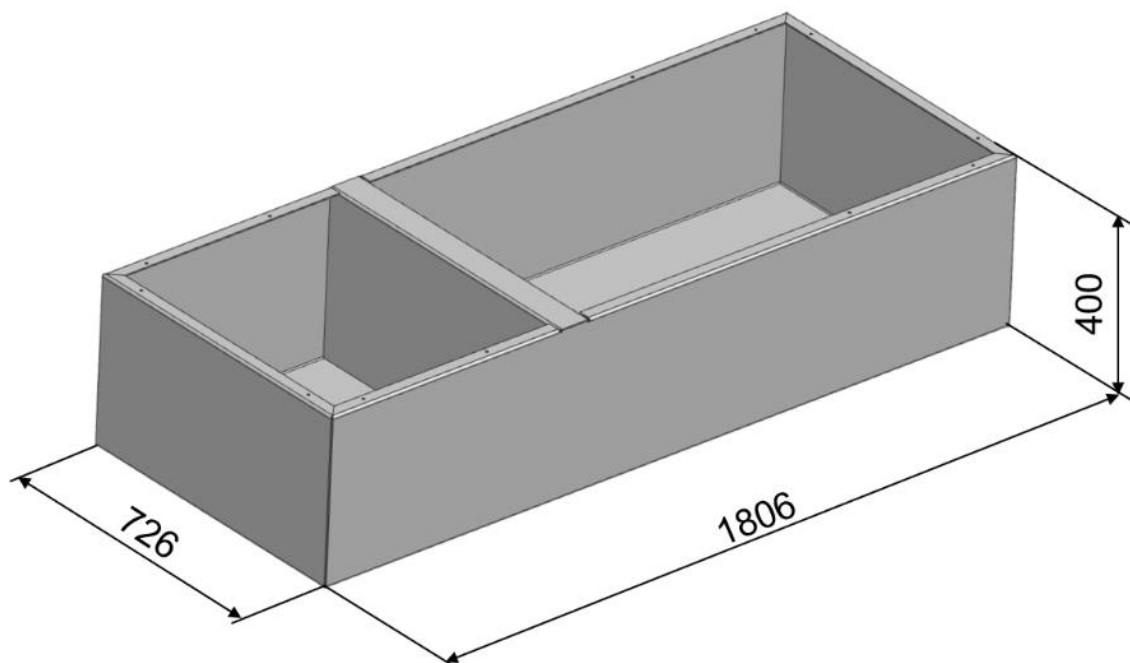
Tloušťka plechu: 3 mm

Maximální hmotnost (včetně přípravku): 1000 kg

Jak vyplývá z rešerše v kapitole 5, do kategorie vymezené zadáním spadají především rozměrnější části vnějšího krytování (tedy kapotáže, případně dveře větších obráběcích strojů) a nádrže na chladicí kapalinu.

Přestože mnoho z těchto dílců odpovídá svými parametry požadovaným rozměrům a tloušťce plechu, tvarově se mohou značně lišit v závislosti na své funkci, typu obráběcího stroje a jeho výrobci – je proto obtížné blíže určit jakýkoliv univerzální tvar. Jelikož v rámci tvorby této práce nebyla k dispozici technická dokumentace ani model k žádnému skutečnému firemnímu dílu obráběcího stroje, byla jako typický plechový dílec pro návrh přípravku zvolena nádrž obdélníkového tvaru s rozměry uvedenými na obrázku 5.7.

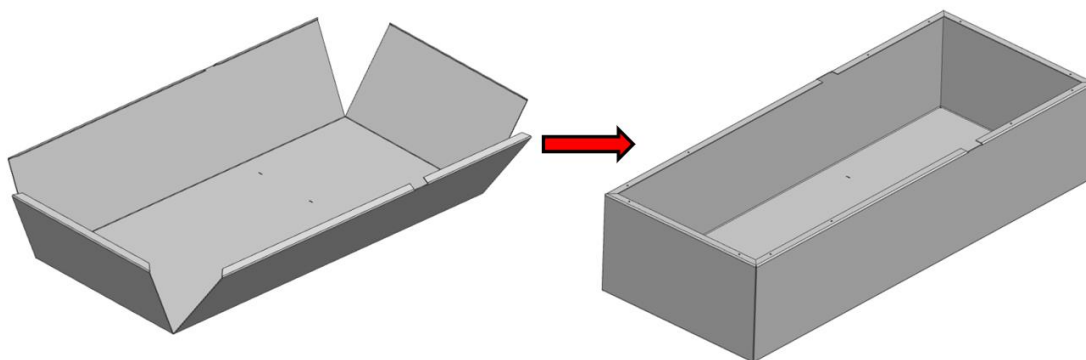
Jedná se o nejjednodušší variantu dílce typu nádrž, která však svým uspořádáním může posloužit jako modelový základ pro složitější díly podobného tvaru, a tedy i jejich přípravky. Přesto je třeba znovu poznamenat, že vzhledem k velké tvarové rozmanitosti nádrží i krytování bude prakticky každý dílec vyžadovat přípravek modifikovaný na míru. Všechny eventuální přípravky by však měly stát na podobném základu (stavebnicové svařované konstrukce – viz dále) a vzhledem k daným maximálním rozměrům budou všechny použitelné na stejném svařovacím pracovišti navrženém v této práci.



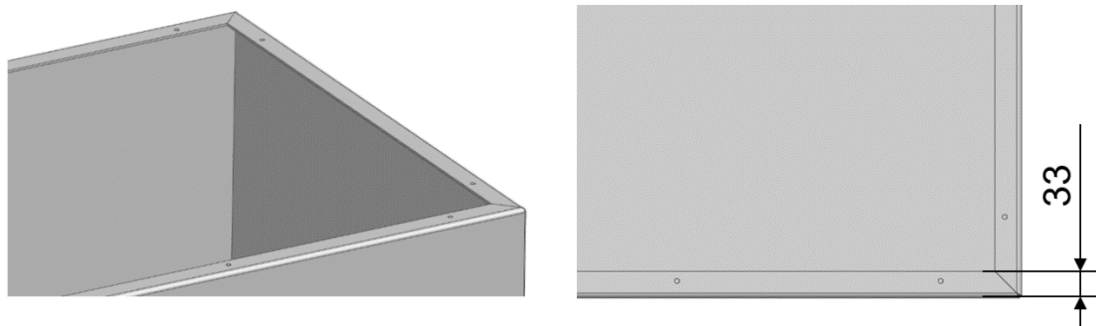
Obrázek 5.7: Modelový plechový dílec - nádrž

Zvolený dílec je složený ze dvou částí – z vlastního tělesa nádrže a vložené dělicí příčky. Nádrž je vyrobena z ohýbaného plechu (3 mm), jak znázorňuje obrázek 5.8. Celková hmotnost dílce je 90 kg.

V průběhu svařování je tedy nutné zajistit stálé vzájemné ustavení stěn do žádaného tvaru. V horní části nádrže se pak po obvodu nachází lem, který přispívá k tuhosti dílce a zpravidla obsahuje otvory pro připojení dalších zařízení (obr. 5.9).

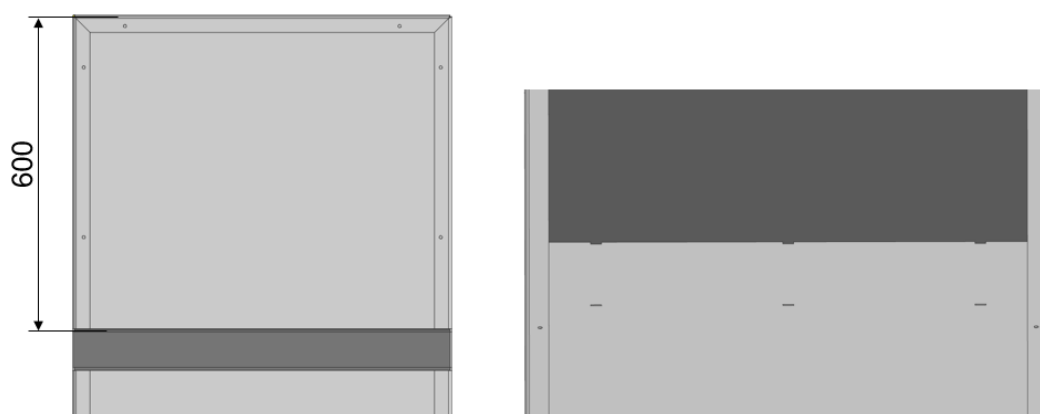


Obrázek 5.8: Nádrž z ohýbaného plechu



Obrázek 5.9: Lem nádrže

Příčka je umístěna v jedné třetině délky nádrže, do jejíhož dna je vsazena pomocí zámků (obr. 5.10). Její poloha je dále vymezena dvojicí vybrání v lemu nádrže. Tímto je již částečně zajištěna stálá poloha příčky v rámci dílce. Celý přípravek je pak třeba koncipovat tak, aby s dostatečnou přesností zabezpečoval požadovaný tvar nádrže a po upnutí nedovoloval odlehnutí jednotlivých částí. Pozice všech svařovaných segmentů tedy musí zůstat vzájemně přesně vymezené v celém průběhu svařovací operace i v případě inprocesní manipulace přípravkem pomocí polohovačů.



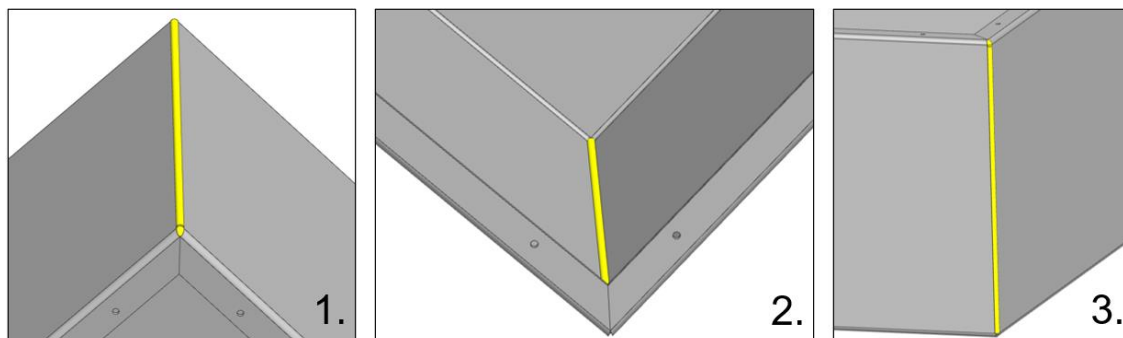
Obrázek 5.10: Dělicí příčka v nádrži

Pro návrh přípravku je klíčový také samotný postup svařování určující, jak bude dílec vůči robotu napolohován, jaký typ svaru bude použit a tím pádem, ke kterých částem dílce je potřeba zajistit přístup hořáku. Celou svařovací operaci lze rozdělit do tří hlavních částí:

1. Svaření stěn nádrže podél čtyř svislých hran
2. Svaření styčných částí lemu v horní části nádrže
3. Přivaření příčky

Pro první operaci, tedy svaření stěn v jejich styčných hranách, připadá v úvahu několik možných postupů. Tři z nich jsou zobrazeny na obrázku 5.11 a jsou to:

1. Svařování na vnější části hrany rohovým svarem v pozici vodorovné shora
2. Svařování na vnitřní části hrany koutovým svarem (ideálně shora)
3. Svařování na vnější části hrany svisle



Obrázek 5.11: Možné postupy svařování stěn (1.zvenku shora, 2.zevnitř shora/šikmo, 3.zvenku svisle)

Varianta svařování zvenku shora (č.1) nabízí snadný přístup svařovacího robotu ke svaru při současné ideální svařovací pozici (PA – vodorovná shora) a také vzhledově nejlepší svar na výsledném dílci. Dosažení potřebné polohy dílce vůči hořáku však vyžaduje možnost dvouosého polohování přípravku a jeho otáčení mezi jednotlivými svařovacími operacemi.

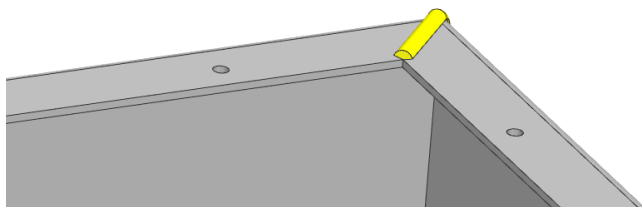
Minimálně stejná polohovací variabilita je nutná i pro vnitřní svařování koutovým svarem (č.2). Tato varianta vzhledem k přirozené uzavřenosti svarové lázně mezi příslušné stěny poskytuje největší toleranci na případnou vadu či nepřesnost. Velkou nevýhodou zde ale představuje obtížnější dosažitelnost svařovacím robotem a možnost kolizí s dílcem či přípravkem. Jelikož finální přípravek bude muset obsahovat upínky a dorazy zajišťující polohu dílce ze všech stran – tedy i ze shora, může se svařování stěn nádrže tímto způsobem v rámci jednoho upnutí ukázat jako velmi problematické nebo dokonce nemožné.

Varianta č.3 (svařování zvenku svisle) odstraňuje některé požadavky na polohování přípravku i robotu, jelikož k její realizaci by patrně stačilo pouze jedoosé polohovadlo (otočný stůl) a jednodušší přípravek bez nutnosti snášet naklápění dílce. Z hlediska náročnosti svařování je však poloha svisle dolů nebo nahoru (PG, PF) z uvedených variant nejhorší volbou a snížení konstrukční náročnosti přípravku a polohovadla zde

nepředstavuje adekvátní výhodu – takto zjednodušené pracoviště by totiž nebylo dostatečně univerzální i pro složitější typy dílců.

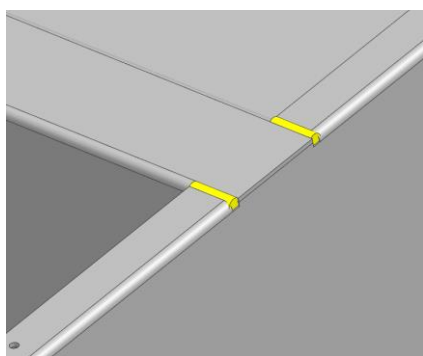
Vzhledem k doporučeným svařovacím polohám pro podobné operace (PA, PB – vodorovná shora $\pm 45^\circ$, viz 4.1.1), dostatečné variabilitě polohování dílců a nutnosti zajištění bezkolizního a dostatečně přesného svařování, vychází jako nejlepší možnost svařovat stěny nádrže zvenku shora rohovým svarem podle varianty č.1 na pracovišti s odpovídajícím dosahem robota a možnostmi polohovadla.

Stejná svařovací pozice se pak automaticky nabízí také pro následné svařování styčných hran lemu nádrže, kdy pouze dojde k napolohování přípravku s dílcem do nové odpovídající polohy (viz obr. 5.12).

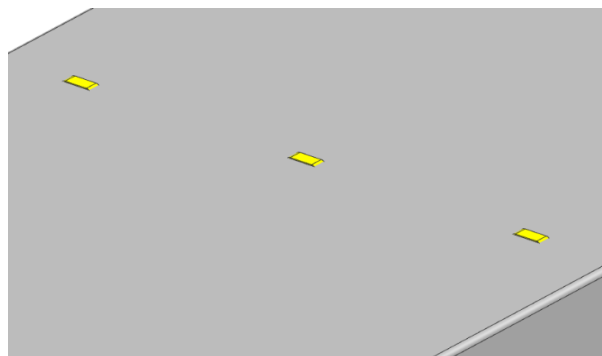


Obrázek 5.12: Svaření lemu nádrže (v pozici vodorovné)

Posledním krokem je přivaření příčky. Její poloha je po správném upnutí celého dílce do přípravku určena již samotnou nádrží, do které přesně zapadá, jak již bylo uvedeno. Základní přivaření pro spojení s nádrží je opět vhodné provést v pozici vodorovné shora v místech, kde se lem příčky stýká s lemem nádrže (viz obr. 5.13). Kvůli těsnosti nádrže je dále nutné provést svaření zespona v místech, kde zámky na příčce zapadají do dna nádrže (obr. 5.14). Vzhledem k tomu, že přístupu ke spodní části nádrže bude v průběhu operace zřejmě bránit polohovadlo, jeví se jako nejvýhodnější provést tyto dodatečné svary pro těsnost nezávisle (např. ručně), až po skončení hlavní svařovací operace a vyjmutí dílce z přípravku, kdy bude již celá nádrž držet potřebný tvar.



Obrázek 5.13: Přivaření příčky k lemu nádrže



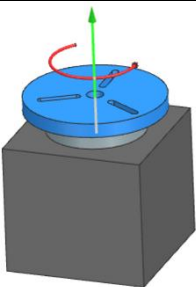
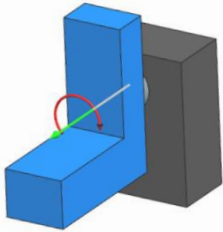
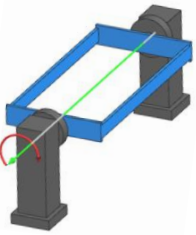
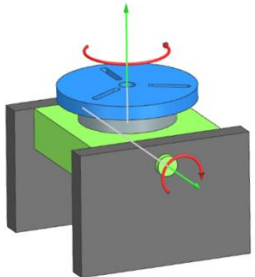
Obrázek 5.14: Dodatečné svary v místech zámků

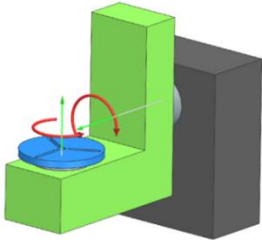
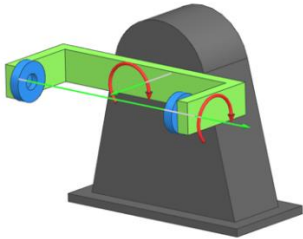
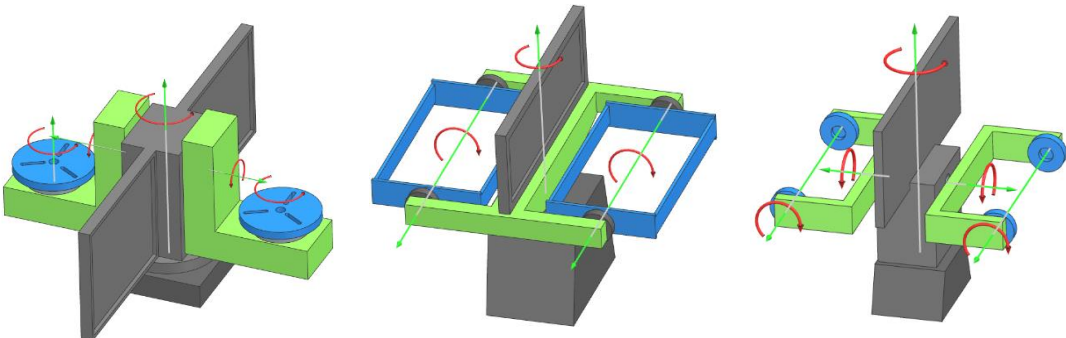
Pokud by svařovací zámky na příčce nebyly k dispozici, bylo by třeba vymezit její polohu vzhledem ke dnu nádrže samotným přípravkem. Taková konstrukce by však značně ztížila přístup robota. Spojení by se muselo nejprve realizovat nabodováním v přístupných místech a potřebné dovaření by opět proběhlo roboticky nebo ručně až po vyjmutí z přípravku.

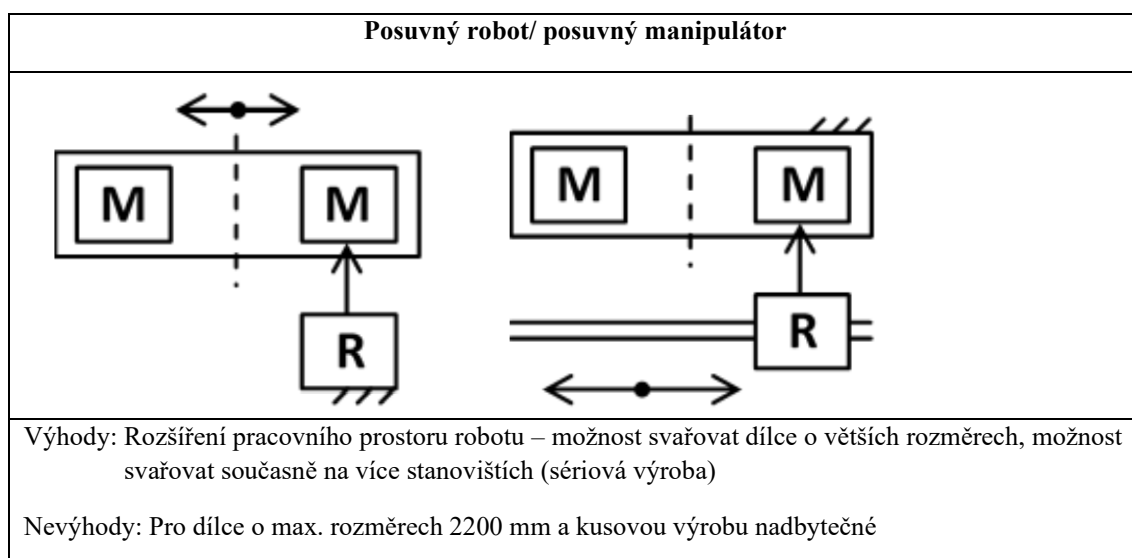
Výsledná podoba svařovacího pracoviště musí jednak umožňovat všechny typy svařovacích operací popsaných na modelovém dílci (včetně požadovaných poloh přípravku) a dále musí reflektovat dodatečná specifika zadání – tedy především univerzálnost pro použití i na jiné typy tenkostěnných plechových dílců a přípravků o daných maximálních rozměrech a hmotnosti; bezkoliznost během polohování; dosažitelnost krajních poloh dílce robotem a předpokládané velikosti sérií jednotlivých dílců. Porovnání typů polohovadel, popsaných v rešerši v kapitole 4, z hlediska použití pro svařování modelového dílce je uvedeno v tabulce 5.1.

Hlavními kritérii jsou použitelnost pro dílce a přípravky se zadanými parametry (max. úhlopříčná délka 2200 mm, max. hmotnost 1000 kg) a zaručený přístup svařovacího hořáku ke svarům dílce ideálně v poloze vodorovné shora.

Tabulka 5.1: Srovnání typů polohovadel z hlediska použití pro modelový dílec

Jednoosá polohovadla (otočný stůl, L rameno, čepové polohovadlo)		
		
Výhody: Jednoduchost, tuhost		
Nevýhody: Polohování pouze v jedné ose		
Dvouosé kolébkové polohovadlo		
		

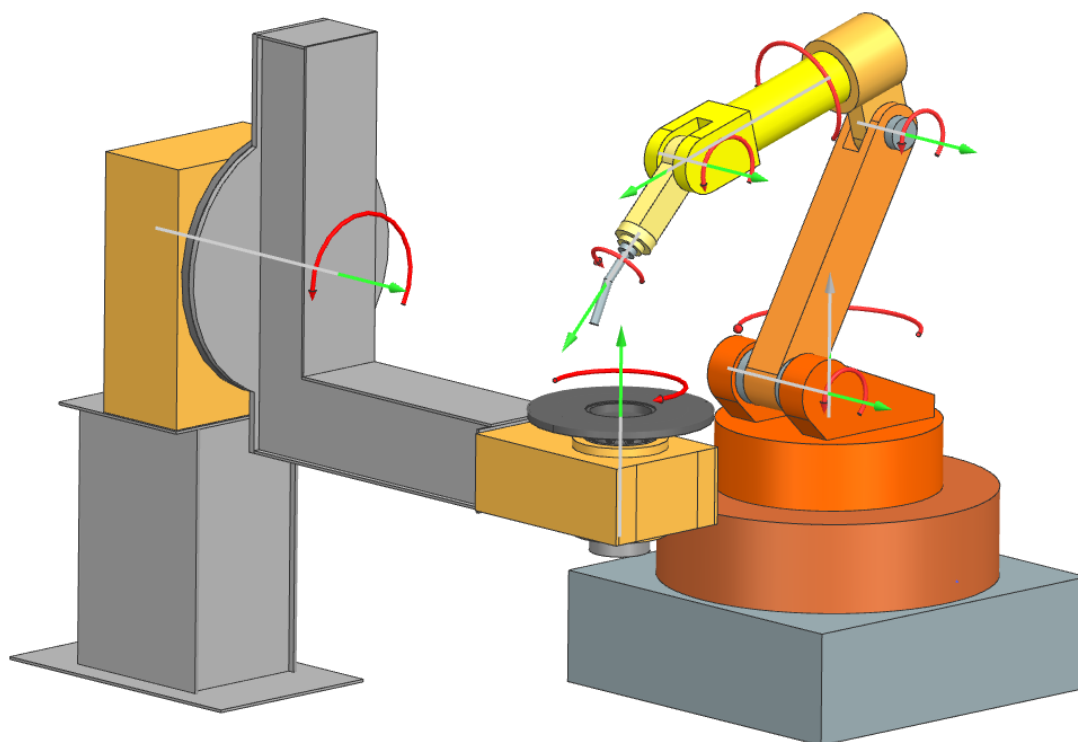
<p>Výhody: Polohování ve dvou osách, otáčení i naklápění dílce, přístup z pěti stran, tuhost</p> <p>Nevýhody: Menší průměr k protočení nad podlahou</p>
<p style="text-align: center;">Dvouosé polohovadlo – kolébka tvaru L</p>

<p>Výhody: Polohování ve dvou osách, otáčení i naklápění dílce, přístup shora z pěti stran, větší průměr k protočení nad podlahou</p> <p>Nevýhody: Nižší tuhost</p>
<p style="text-align: center;">Dvouosé čepové polohovadlo</p>

<p>Výhody: Polohování ve dvou osách, otáčení i naklápění dílce</p> <p>Nevýhody: Vhodné pro dílce s převládajícím rozměrem v jednom směru</p>
<p style="text-align: center;">Vícenásobná polohovadla</p>

<p>Výhody: Polohování ve dvou osách, otáčení i naklápění dílce</p> <p>Nevýhody: Vhodné pro sériovou výrobu, pro kusovou výrobu nadbytečné</p>



Z hlediska dosažení potřebné variability polohování dílců do vhodné svařovací pozice vychází jako nutnost použití dvouosého polohovadla. Jelikož je zadána pouze maximální úhlopříčná délka přípravku a popsané plechové dílce z obráběcích strojů obecně nemají převládající rozměr v jednom směru, nejví se příliš účelně použítí polohovadel čepových. Výhodné je naopak dvouosé polohovadlo tvaru L, které oproti standardní kolébce zajišťuje možnost protáčet větší průměr nad podlahou a dílec je tak možné otáčet do prakticky libovolné polohy. S ohledem k uvedeným výhodám byla zvolena tato koncepce jako výchozí pro další práci. Dílčí problém představuje nutnost poměrně dlouhého L ramene (vzhledem k max. rozměrům dílce), což se projeví vyšší poddajností (zejména v případě jednostranného uložení). Optimalizace pro zvýšení tuhosti polohovadla je součástí kapitoly 6.

Z především ekonomického hlediska je pak otázkou, zda použít manipulátor jednoduchý nebo dvojnásobný – jak bylo již řečeno, vícenásobné manipulátory nacházejí uplatnění především v sériové výrobě díky zkracování vedlejších časů. Jelikož v současné době se obráběcí stroje i jejich plechové součásti v ČR vyrábějí v malých dávkách či kusově a tato práce je koncipována s ohledem na tuto skutečnost, předpokládá se pro modelový dílec série o počtu cca 20 kusů. Z tohoto důvodu je pro daný účel dostatečným použitím jednoduchého dvouosého polohovadla tvaru L, které požadované operaci vyhovuje rozměrově i kinematicky.

Na obrázku 5.15 je znázorněna koncepční podoba zvoleného pracoviště, která bude detailněji zpracována později.



Obrázek 5.15: Koncepční podoba svařovacího pracoviště

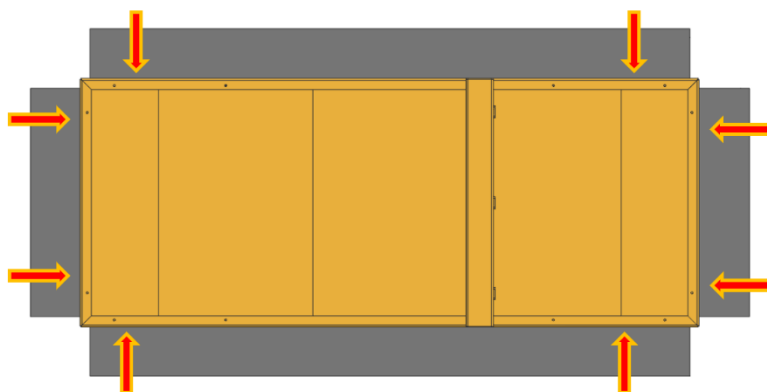
6 Návrh svařovacího přípravku

Vzhledem k uvedenému charakteru výroby se na robotickém pracovišti předpokládá postupné svařování několika malých sérií plechových dílců s parametry vymezenými zadáním. Nutná je tedy jistá flexibilita pracoviště – možnost snadné výměny přípravku pro jednu sérii dílců za jiný a pokud možno jednoduché ustavení a upínání dílců do přípravků pro ně určených. Z tohoto důvodu je zde navrhovaný přípravek konstruován na míru modelovému dílci, tedy jako jednoúčelový, avšak s důrazem na možnost drobných modifikací v případě potřeby. Jelikož se však jedná o přípravky pouze pro malé série dílců, je třeba klást důraz také na nízkou cenu a co největší jednoduchost výroby daných přípravků – cílem bylo proto navrhnout modelový přípravek jako stavebnicovou svařovanou konstrukci z plechů s minimem složitého obrábění. Takto navržená konstrukce pak může posloužit jako základ pro návrh přípravků k dalších plechovým dílcům s podobnými základními parametry.

Přípravek pro zde řešený modelový dílec musí zajistit tři hlavní funkce, které budou rozpracovány v následujících podkapitolách. Jedná se o zabezpečení stálé a přesné polohy stěn nádrže v rámci přípravku i vůči sobě – tedy zafixování z boku, dále o zajištění dílce shora proti uvolnění z přípravku během polohování, a nakonec o přesné a snadné upínání přípravku s dílcem k polohovačce.

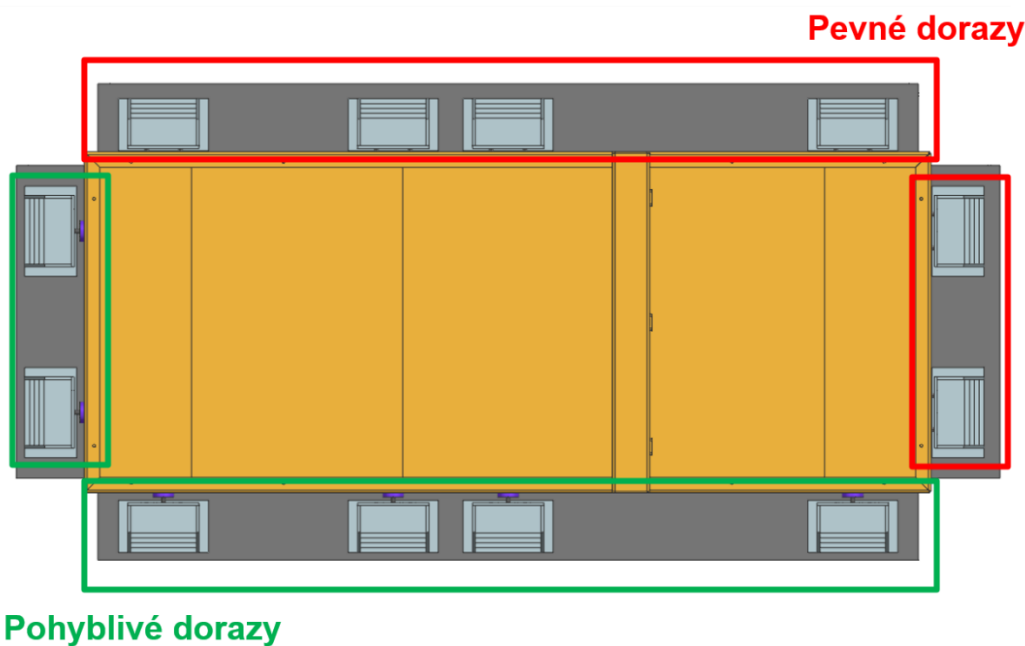
6.1 Boční zajištění dílce

Pro správné provedení svarů je nezbytné, aby každé dvě sousední stěny nádrže držely po celou dobu operace stálý potřebný tvar a pozici kolmo vůči dnu i sobě navzájem. Svařovací přípravek tedy musí po založení dílce umožnit tuto fixaci stěn. Prvním krokem je znemožnit opětovné rozevírání stěn pomocí vnějších dorazů (viz obr. 6.1).



Obrázek 6.1: Schéma zajištění polohy stěn nádrže z vnější strany


Dosažení dostatečně přesného vymezení polohy stěn vyžaduje, aby se dorazy ze všech čtyř stran nacházely v navzájem přesně daných pozicích a prostor mezi nimi, aby spolehlivě vymezoval rozměry založeného dílce bez možnosti jeho pohybu vůči přípravku. Tato skutečnost komplikuje zakládání a především vykládání svařovaného dílce, jelikož mezi stěnami nádrže a vnějšími dorazy nesmí vznikat vůle, která by ohrozila přesnost svařování. Při bezvůlovém založení dílce mezi pevné dorazy hrozí, že v důsledku teplotních deformací plechů od procesu svařování dojde ke vzpříčení dílce a jeho zaseknutí v přípravku. Uvolnění by pak bylo možné jedině značným silovým působením, které by mohlo způsobit poškození jak dílce, tak přípravku. Z tohoto důvodu je nutné po skončení svařovací operace umožnit uvolnění dorazů a bezproblémové vyjmutí hotového dílce. Toho se nejlépe docílí použitím pohyblivých dorazů, respektive dvojic pevných a pohyblivých dorazů pro každé dvě protilehlé stěny (obr 6.2).



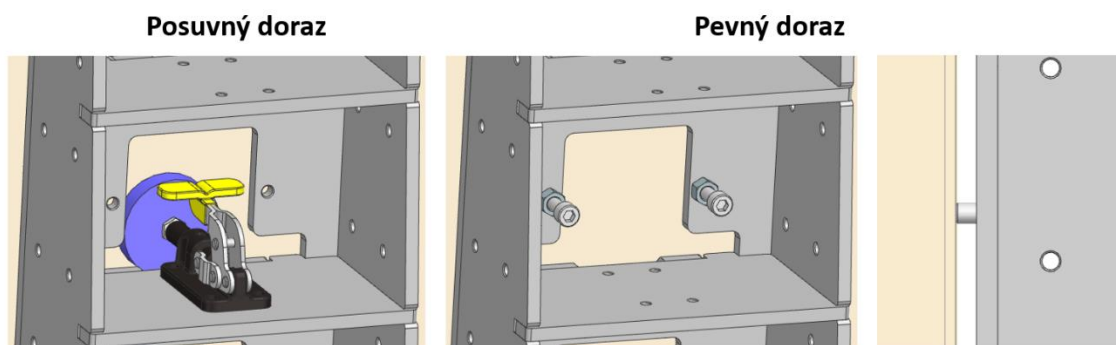
Obrázek 6.2: Protilehlé dvojice pevných a pohyblivých dorazů

Pohyblivý doraz musí v poloze „zavřeno“ pokaždé vymezovat přesnou polohu danou rozměry vloženého modelového dílce – musí tedy disponovat stálým zdvihem. Pro tento účel je nejvhodnější použít rychloupínky probírané v rešerši v podkapitole 3.2.2. Vzhledem k malosériovosti výroby a relativně jednoduchým operacím postačují rychloupínky ruční, konkrétně řada přímočarých upínek 307 Z od firmy JC Metal s parametry uvedenými v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1: Parametry rychloupínky 307 Z [81]

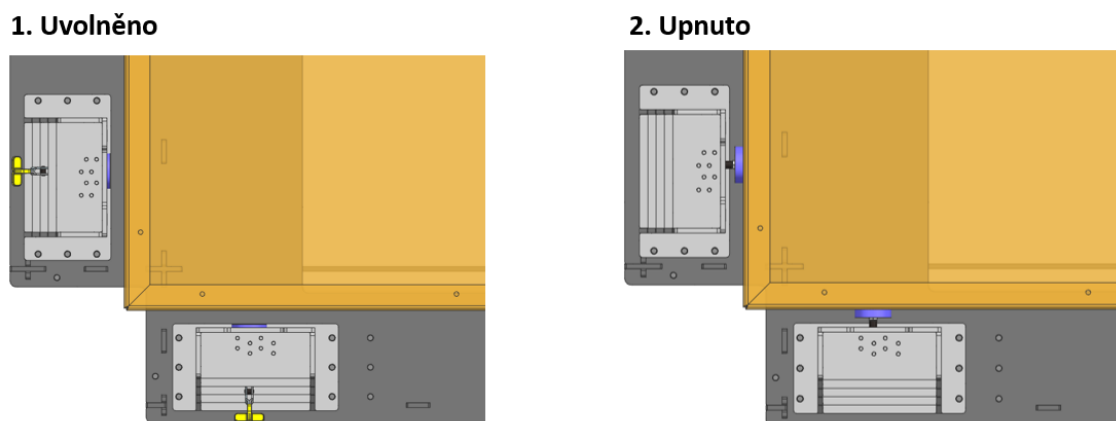
Přímá upínka 307 Z		
	Zdvih	16 mm
	m	160 g
	F_{\max}	2000 N

Pevné i pohyblivé dorazy jsou umístěny na univerzálních plechových sloupcích, z nichž každý může nést 1-3 pevné nebo pohyblivé dorazy podle potřeby. Posuvný doraz je tvořen zmíněnou rychloupínkou s připevněným kruhovým zakončením a pevný doraz tvoří inbusový šroub M6x40 v závitové díře zajištěný kontramaticí, jehož poloha je přesně nastavena během montáže přípravku a při jeho používání se standardně nemění (viz obr. 6.3).



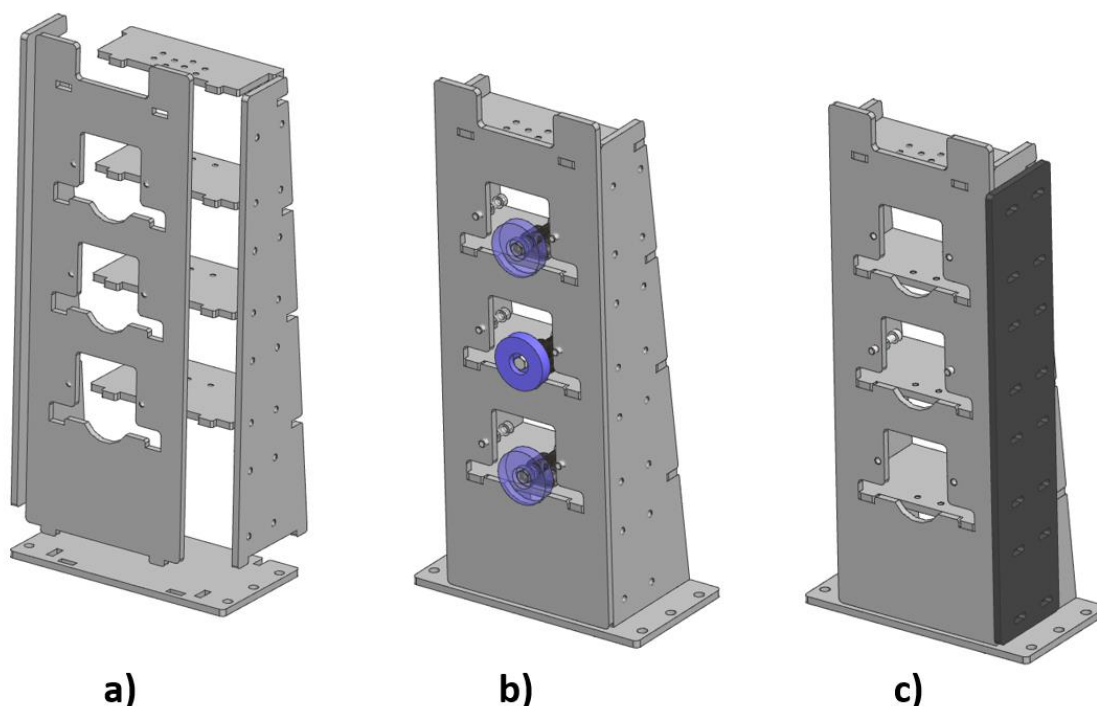
Obrázek 6.3: Posuvný a pevný doraz

Na obrázku 6.4 je detailněji znázorněno použití pohyblivých dorazů po založení dílce do přípravku.



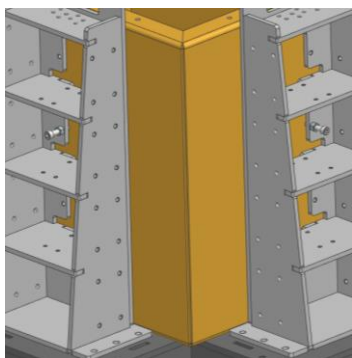
Obrázek 6.4: Zajištění dílce v přípravku pomocí pohyblivých dorazů

Samotné sloupky nesoucí dorazy jsou svařované z vypalovaných plechů tloušťky 6 mm. Jejich konstrukce je stavebnicová, kdy jednotlivé plechy obsahují do sebe zapadající zámky a celý sloupek je tak možné snadno a rychle sestavit a následně svařit – obr. 6.5 a). Stejným způsobem je koncipován celý přípravek – důraz je kladen na jednoduchou a levnou výrobu. Sloupky na příslušných místech obsahují díry pro připojení upínek a dorazů (3 možné pozice v různé výšce) – obr. 6.5 b); a další otvory po stranách pro možnost připojení dodatečných dorazových plechů v případě potřeby – obr. 6.5 c).

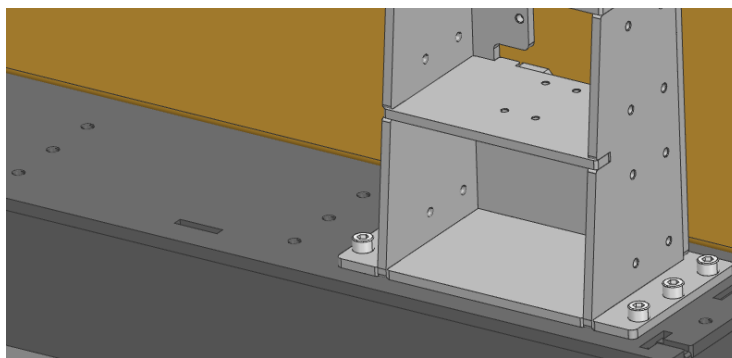


Obrázek 6.5: Konstrukce dorazového sloupku; a) stavebnicová konstrukce, b) možné polohy dorazů, c) možnost dodatečných bočních dorazů

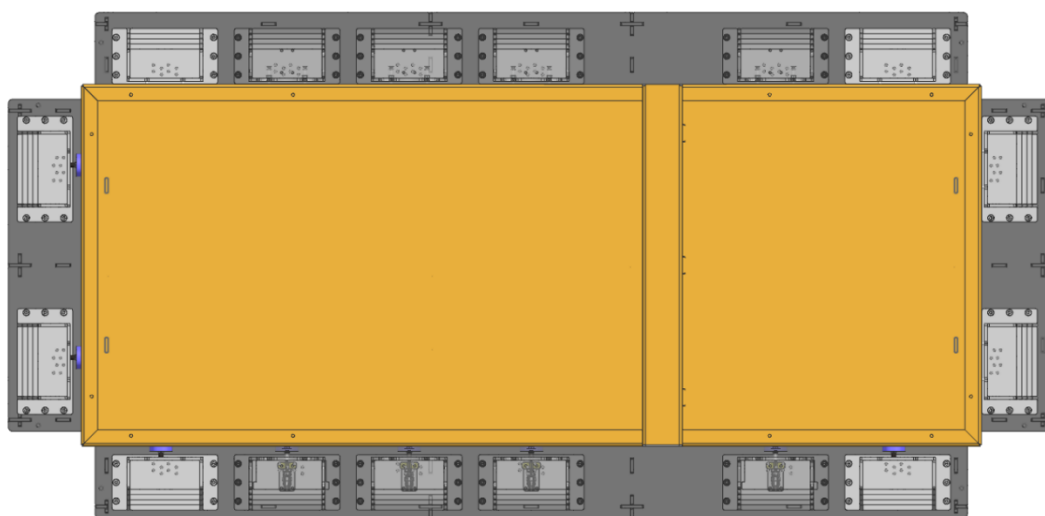
Dorazové sloupky jsou umístěny na základové desce přípravku, ke které jsou připevněny pomocí šroubů a jsou tedy vyměnitelné. Jejich pozice je volena v dostatečné vzdálenosti od hran nádrže, aby bylo zaručeno bezpečné provedení svaru (viz. obr. 6.6). Celkový počet a poloha sloupků je však do určité míry variabilní. Kromě osmi hlavních dorazů vymezujících zvnějšku tvar nádrže, obsahuje základová deska několik pozic pro dodatečné sloupky, které mohou zamezovat nežádoucím průhybům na delších stěnách dílce (viz obrázky 6.7 a 6.8). Podobu přípravku je tedy takto možné v případě potřeby mírně modifikovat. V rámci této práce bude dále používána a testována verze přípravku s 12 dorazovými sloupky (8 základních + 4 podpůrné pro delší stranu dílce). Maximální počet je až 16, tedy 8 párů protilehlých dorazů (pevný – posuvný).



Obrázek 6.6: Prostor pro svar

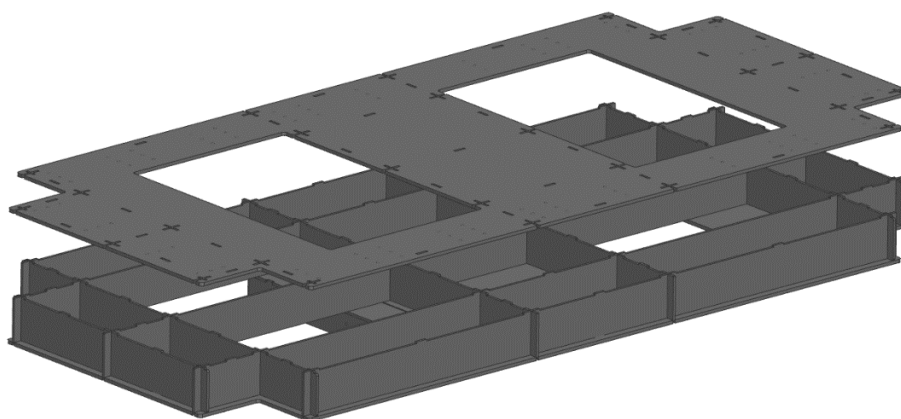


Obrázek 6.7: Díry pro připevnění dorazových sloupků



Obrázek 6.8: Základní dorazy a možné polohy dodatečných dorazů (průsvitně)

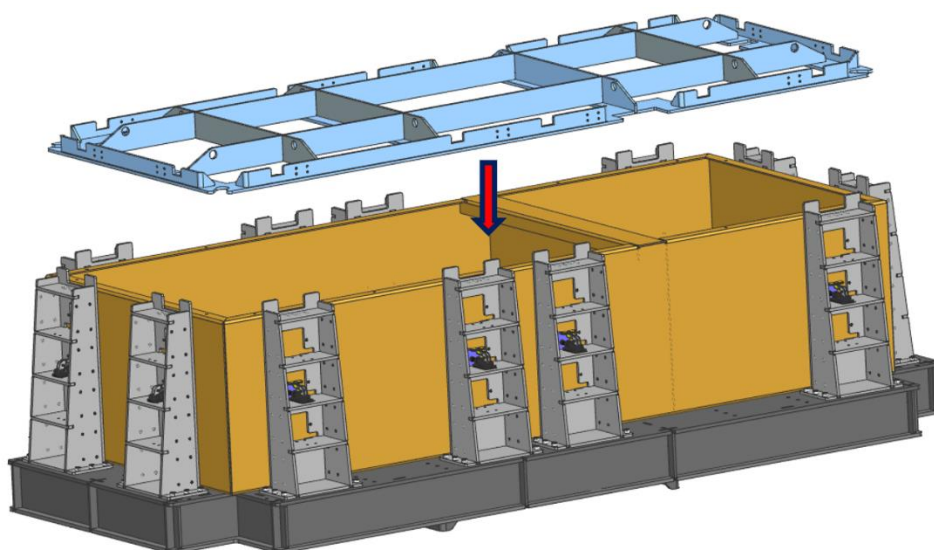
Základová deska přípravku je stejně jako dorazové sloupky tvořena stavebnicovou svařovanou konstrukcí z laserem vypalovaných plechů. Dvě plechové desky jsou spojeny dohromady sadou podélných a příčných žeber (obr. 6.9). Tím je vytvořena tuhá a kompaktní konstrukce schopná nést dílec a další příslušenství. Na spodní straně základové desky bude umístěno rozhraní pro připojení k polohovadlu, které bude řešeno později.



Obrázek 6.9: Základová deska přípravku

6.2 Zajištění dílce shora

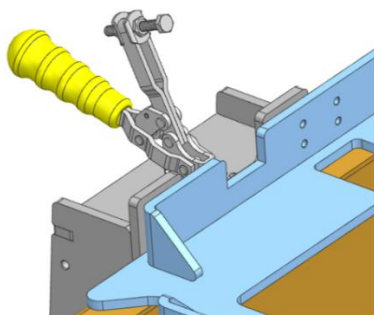
Během svařovací operace bude docházet k polohování přípravku až o 90° oproti základní poloze, přičemž by bez dalšího jištění hrozilo odléhání dílce od základové desky či dokonce jeho uvolnění z přípravku. Je proto nezbytné zajistit trvalé přitlačení dílce z horní strany tak, aby byl dílec při jakékoliv poloze přípravku pevně fixován mezi jeho dorazy. Pro tento účel byla navržena přitlačná deska, která se po založení nádrže mezi dorazové sloupky umístí shora na dílec, jak znázorňuje obrázek 6.10.



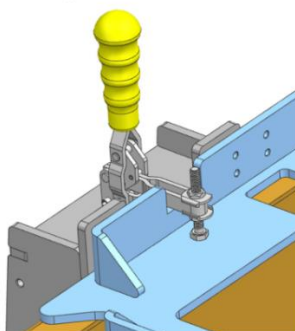
Obrázek 6.10: Přitlačná deska

Přitlačení desky k dílci je realizováno pomocí svislých pákových rychloupínek JC Metal řady 220 UZ připojených k horní části dorazových sloupků (viz obr. 6.11). Parametry těchto upínek jsou uvedeny v tabulce 6.2. Na rozdíl od posuvných dorazů navržených v předchozí podkapitole, neslouží dané upínky pouze k vymezení tvaru nádrže, ale aktivně přitlačují dílec k základové desce. Jejich upínací síla je tedy plně využita v každé poloze přípravku během svařovací operace.

1. Uvolněno




2. Upnuto

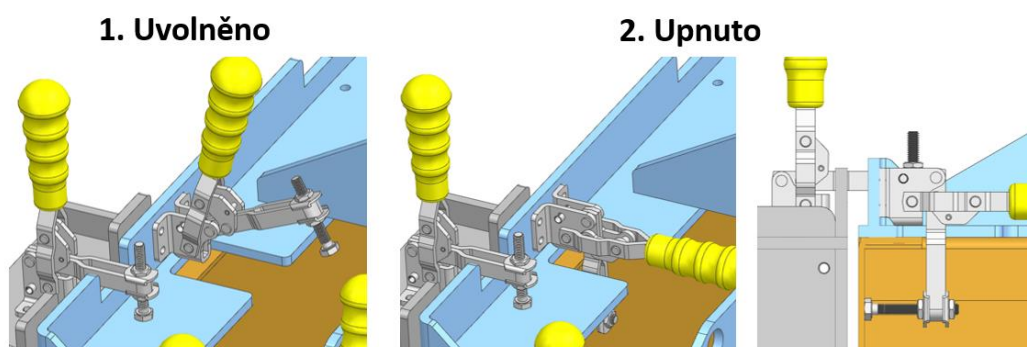


Obrázek 6.11: Zajištění dílce v přípravku přitlačením shora

Tabulka 6.2: Parametry rychloupínky 220 UZ [82]

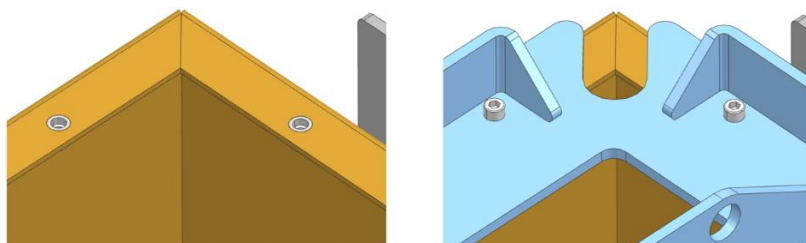
Svislá upínka 220 UZ		
	Úhel otevření	110°
	m	185 g
	F_{\max}	1000 N

Samotná přitlačná deska pak obsahuje vlastní skupinu upínek stejného typu, které po uzavření zajistí dílec i z vnitřní strany (obr. 6.12). Žádaná pozice stěn nádrže je tak spolehlivě oboustranně zabezpečena.



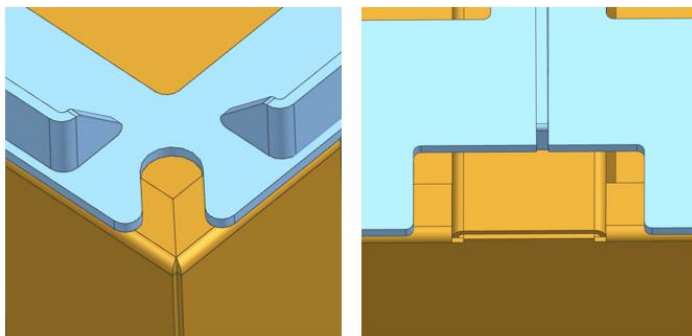
Obrázek 6.12: Zajištění dílce v přípravku z vnitřní strany

Přesného vymezení polohy přitlačné desky na dílci je dosaženo pomocí šroubového spojení. Inbusovými šrouby jsou propojeny otvory v desce s příslušnými otvory v lemu nádrže, které obsahují zápusťné nýtovací matice s vnitřním závitem (obr. 6.13). Deska je takto pevně spojena s dílcem a jejich vzájemná poloha se nemění ani při polohování.

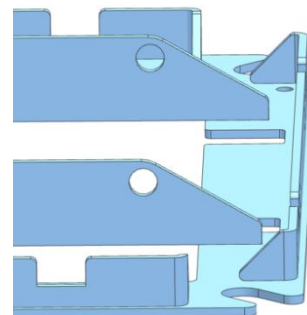


Obrázek 6.13: Vymezení polohy přitlačné desky na dílci

Tvar desky pochopitelně obsahuje vybrání a dostatečný prostor k provedení svarů na lemu dílce (viz obr. 6.14). Celá konstrukce desky včetně upínek dosahuje hmotnosti 40 kg. Manipulaci a přesné ustavení desky na dílec je proto praktické provádět s pomocí jeřábu. Za tímto účelem jsou v žebrech desky vytvořena závěsná oka (obr. 6.15).

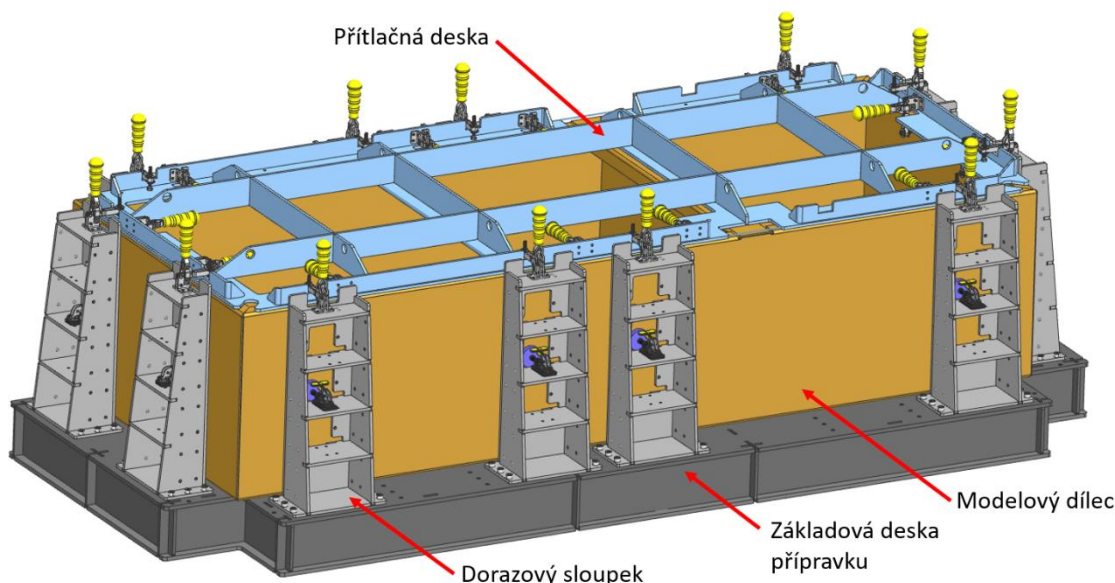


Obrázek 6.14: Vybrání v místech svarů



Obrázek 7.15: Závěsná oka

Celková podoba přípravku se založeným modelovým dílcem v upnutém stavu se všemi dosud navrženými částmi je zobrazena na obrázku 6.16. Přesnost přípravku a jeho použitelnost na příslušném robotickém svařovacím pracovišti budou ověřeny v dalších částech práce.



Obrázek 6.16: Svařovací přípravek s upnutým modelovým dílcem

6.3 Návrh upínání přípravku k polohovadlu

Jak již bylo řečeno v kapitole 5, přípravek s dílcem bude polohován dvouose, tedy za pomoci celkem dvou rotačních polohovadel, přičemž k jednomu z nich bude přípravek připojen přímo. Pro tento účel bylo zvoleno polohovadlo MTD 2000 od firmy ABB, jehož základní rozměry a parametry jsou uvedeny v tabulce 6.3. Navrhnout bylo třeba rozhraní, které umožní spojení rotační části tohoto polohovadla se základovou deskou svařovacího přípravku. Toto připojení musí být snadno a rychle proveditelné, spolehlivé, přesné a musí odolávat všem silám a momentům vznikajícím od přípravku při jeho polohování.

Tabulka 6.3: Parametry polohovadla MTD 2000 [83]

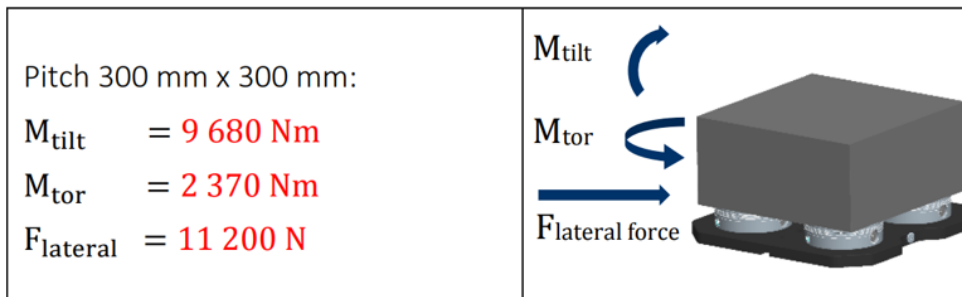
Max. únosnost	2000 kg
Opak. přesnost na poloměru 500 mm	± 0.05 mm
Hmotnost	340 kg

Široký výběr standardizovaných systémů pro rychlou výměnu nabízí firma Schunk. Jako možné rozhraní přípravku a polohovadla byla konkrétně vybrána řada pneumaticky ovládaných upínacích modulů s označením NSE3 138-V1-P (viz tabulka 6.4).

Tabulka 6.4: Parametry upínacího modulu NSE3 138-V1-P [84]

	Rozměry	$\text{Ø}138 \times \text{Ø}110 \times 55,7$ mm
	Axiální přítlak	8 kN
	Ax. přítlak s funkcí turbo	28 kN
	Aktivační tlak	6 bar
	Opakovatelná přesnost	$< 0,005$ mm
	Hmotnost	4,4 kg
<p>Řez upínacím modulem</p>		<p>Upínací čep SPA40</p>

Upínací moduly je možné kombinovat v různých počtech a vzájemných pozicích. Jedním ze standardizovaných uspořádání je umístění čtyř modulů do vrcholů čtverce 300x300 mm, jak ukazuje obrázek 6.17. Pro tuto variantu jsou v katalogu výrobce k dispozici hodnoty maximálních zatížení.

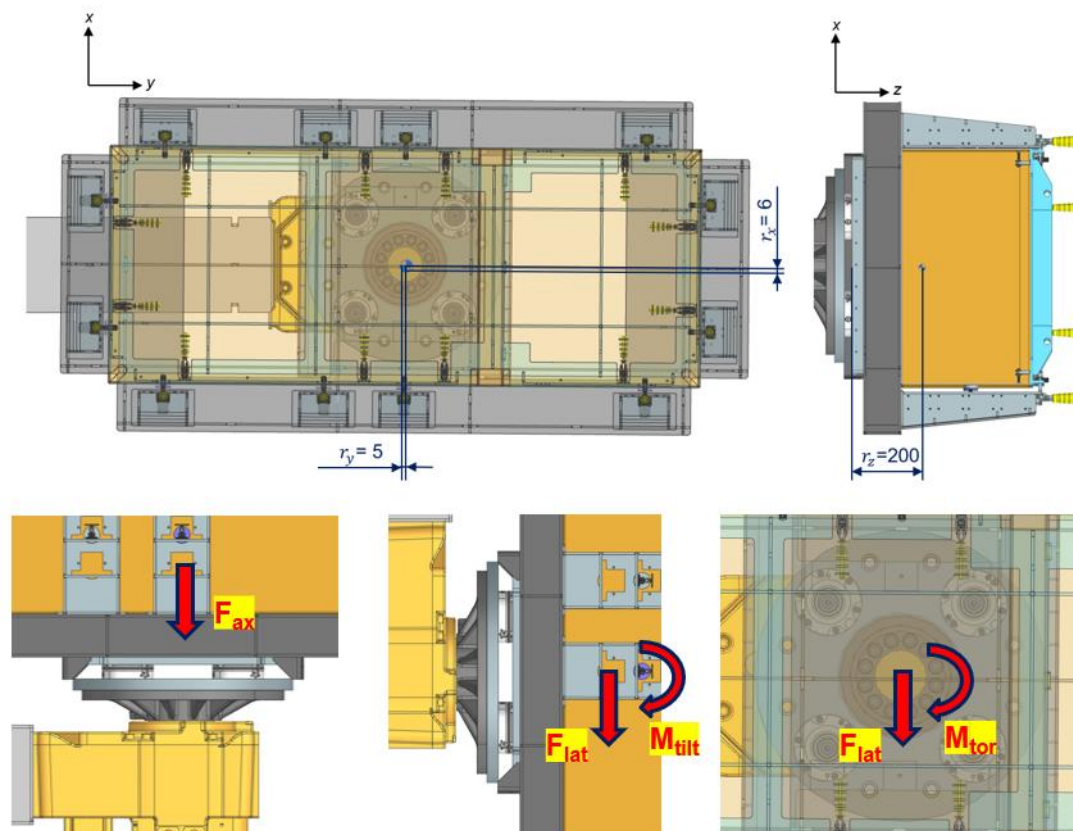


Pull-down force with turbo = 28 000 N

axial pressure F_{axial} = 40 000 N (4 t)

Obrázek 6.17: Dovolená zatížení pro sadu čtyř upínačů NSE 138 [85]

K ověření možnosti použití pro modelový přípravek bylo nutné určit hmotnost a polohu těžiště přípravku s upnutým dílcem a následně provést kontrolní výpočet pro všechny uvedené typy zatížení. Poloha těžiště a předpokládaný způsob upnutí a zatěžování jsou znázorněny na obrázku 6.18.



Obrázek 6.18: Poloha těžiště přípravku a způsoby zatěžování upínacího systému během polohování

Vzhledem k hmotnosti přípravku s dílcem $m_M = 550$ kg vychází axiální síla působící na upínače buď tažně nebo tlačně jako:

$$F_{ax} = m \cdot g = 550 \cdot 9,81 = 5395,5 \text{ N} \quad (6.1)$$

Tento výsledek s velkou rezervou vyhovuje dovoleným hodnotám.

Smyková síla a klopný moment vznikající při natočení přípravku o 90° vycházejí:

$$F_{lat} = m \cdot g = 550 \cdot 9,81 = 5395,5 \text{ N} \quad (6.2)$$

$$M_{tilt} = F_{lat} \cdot r_z = 5395,5 \cdot 0,2 = 1079,1 \text{ Nm} \quad (6.3)$$

I tyto hodnoty tedy vyhovují.

Jelikož poloha těžiště v rovině xy je prakticky totožná se středem upínacího rozhraní, je vzniklý krouticí moment minimální a jeho hodnotu je možné zanedbat.

Modelový přípravek je tedy dle kontrolních výpočtů možné upínat na zvoleném typu rozhraní a pomocí polohovadla s ním dle potřeby dále manipulovat.

Důležité je zmínit, že výsledky výpočtů provedené pro modelový přípravek nejsou použitelné univerzálně. Hmotnost i poloha těžiště různých přípravků se může značně lišit a je proto nutné vycházet z obecnějších specifik.

S uvažováním zadáním dané maximální hmotnosti přípravku s dílcem 1000 kg, dosahuje axiální síla na upínače hodnoty

$$F_{ax \max} = m_{\max} \cdot g = 1000 \cdot 9,81 = 9810 \text{ N} \quad (6.4)$$

, což stále splňuje podmínky.

Smyková síla při této hmotnosti vychází

$$F_{lat \max} = m_{\max} \cdot g = 1000 \cdot 9,81 = 9810 \text{ N} \quad (6.5)$$

Z hlediska dovoleného zatížení tedy vyhovuje, avšak s poměrně malou rezervou. Je proto nutné dbát na to, aby přípravky upínané na daném rozhraní skutečně svou hmotností nepřesahovaly zadáním vymezených 1000 kg.

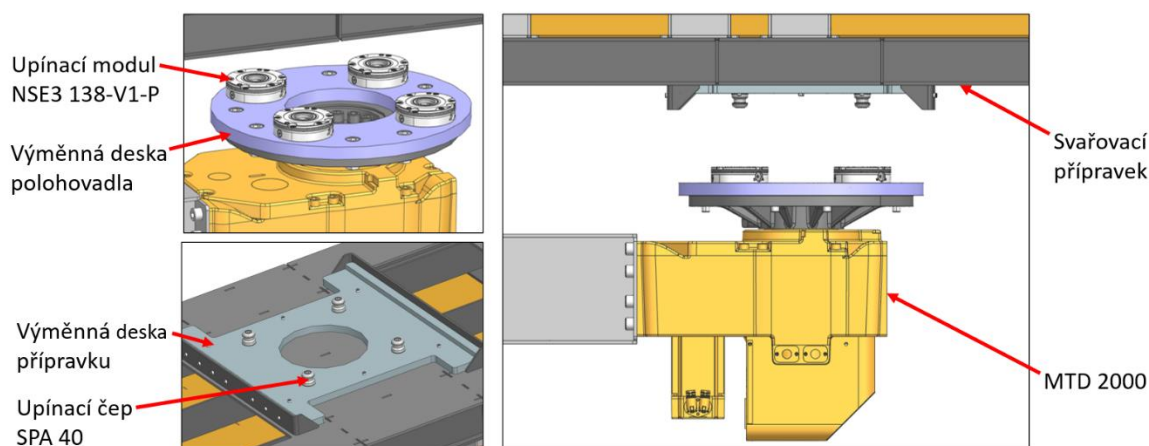
Hodnota povolené délky ramene klopného a krouticího momentu závisí na hmotnosti upnutého přípravku s dílcem, nicméně pro maximální hmotnost 1000 kg vycházejí:

$$r_{z \max 1000} = \frac{M_{tilt \max}}{F_{lat \max}} = \frac{9680}{9810} = 0,986 \text{ m} \quad (6.6)$$

$$r_{x,y \max 1000} = \frac{M_{tor \max}}{F_{lat \max}} = \frac{2370}{9810} = 0,241 \text{ m} \quad (6.7)$$

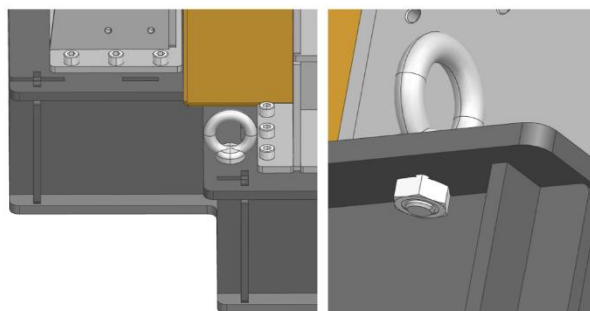
Obecně lze tedy říct, že upínací systém NSE 138 v dané konfiguraci je možné použít pro zadáním určené sestavy přípravek + dílec s celkovou maximální hmotností 1 t, přičemž pro každý konkrétní případ je potřeba zkontrolovat vznikající klopné a krouticí momenty závislé na poloze těžiště.

Detailnější pohled na použité upínací rozhraní nabízí obrázek 6.19. Sada upínacích modulů se nachází na kruhové desce připevněné k polohovadlu. Do těchto modulů zapadají čepy spojené s deskou připojenou k přípravku. Po upnutí a přivedení tlaku je pak docíleno pevného a přesného spojení přípravku s polohovadlem. Obě desky nesoucí komponenty rozhraní jsou jednoduše vyměnitelné a v případě nutnosti tak lze snadno použít desky s jinou konfigurací upínačů (např. s jiným počtem a rozmístěním modulů a čepů). Vzhledem k provedeným kontrolním výpočtům by však použité rozhraní mělo být univerzálně použitelné pro svařovací přípravky s hmotností do 1 tuny (i s upnutým dílcem), jejichž těžiště nemá výraznou excentricitu vzhledem k rotační ose polohovadla.



Obrázek 6.19: Upínací rozhraní

Jelikož navržený přípravek dosahuje hmotnosti 550 kg, není možné manipulaci s ním provádět ručně. Stejně jako při umístění přítlačné desky na dílec, je i pro usazení samotného přípravku na polohovadlo nutné použít jeřáb. K zavěšení slouží oka se závitem



Obr. 6.20: Závěsná oka k manipulaci s přípravkem

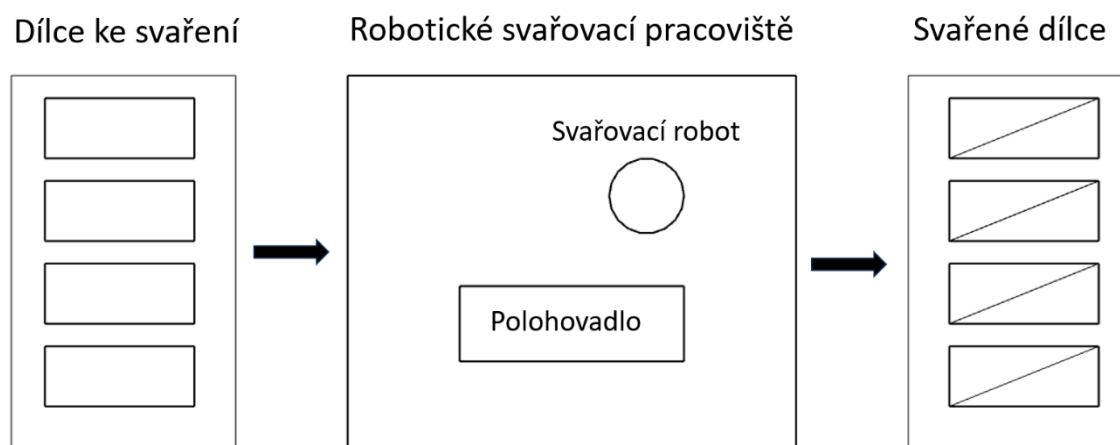
M10 přišroubovaná do přivařených svařovacích matic na okrajích základové desky (obr. 6.20). Počítá se se zavěšením na 4 oka (nosnost každého je 0,23 t). Pro přesun modelového přípravku jsou tedy dostačující.

7 Návrh svařovacího pracoviště

Po návrhu vzorového přípravku bylo dalším cílem navrhnout samotné svařovací pracoviště tak, aby umožňovalo potřebné manipulace, polohování a svařování podobných plechových dílců v rámci zadáním daných parametrů. Hlavní důraz byl kladen na návrh dostatečně přesného a tuhého polohovadla, schopného nést přípravky o dané maximální hmotnosti 1000 kg a úhlopříčné délce 2200 mm. Celé polohovadlo i pracoviště bylo vzhledem k požadavku levné a jednoduché výroby navrhováno jako stavebnicová konstrukce s co nejvyšším počtem nakupovaných dílů. V rámci optimalizace polohovadla byla proto řešena především konstrukce nově navržených, nenormalizovaných částí. Na finální verzi pracoviště byla následně otestována celková přesnost dosažitelná na dříve zvoleném modelovém dílci.

7.1 Koncepční návrh svařovacího pracoviště

Schematická podoba předpokládaného svařovacího pracoviště v průmyslové hale je na obrázku 7.1. Hlavními pracovními částmi jsou již zmiňované polohovadlo a svařovací robot, jež budou obklopeny pevnou zástěnou a dveřmi s potřebnými bezpečnostními prvky. Svařovací přípravky se založenými dílci, připravenými ke svaření, jsou k polohovadlu dopravovány pomocí jeřábu z pozice vlevo od svařovací buňky. Vpravo jsou pak vykládány hotové dílce z přípravků.



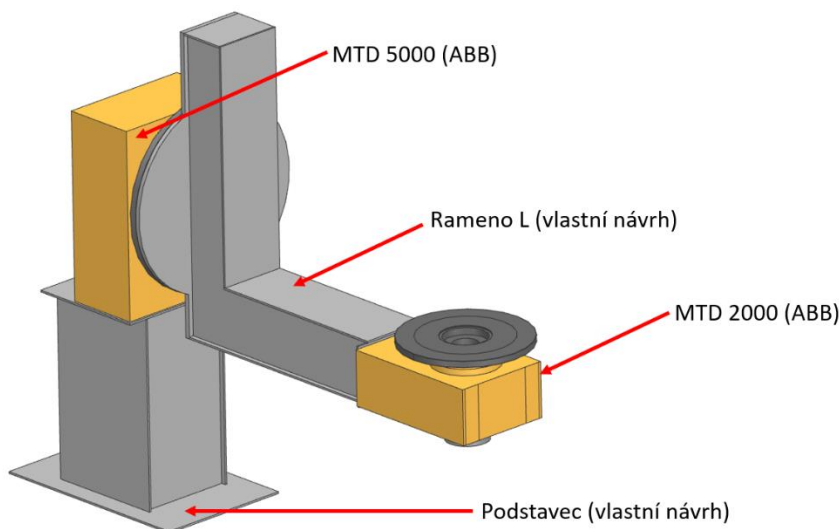
Obrázek 7.1: Schematické zobrazení svařovacího pracoviště

7.2 Návrh konstrukce polohovadla

Předpokládaná podoba kompletního polohovadla nesoucího svařovací přípravek byla navržena v kapitole 5. Z kinematického hlediska daná koncepce vyhovuje – zaručuje dosažení všech předpokládaných poloh svařování pro modelový dílec a celkově disponuje dobrou polohovací variabilitou pro použití při svařování dalších plechových dílců s parametry určenými v rámci zadání.

Jedná se však pouze o předběžný návrh a pro správnou funkčnost bylo třeba navrhnout konkrétní řešení příslušných prvků polohovadla, které zaručí dosažení dostatečné tuhosti, a tedy co nejmenších nepřesností ve všech svařovacích polohách. Cílem bylo, aby přesnost dosahovaná na polohovadle zhruba odpovídala přesnostem dosahovaných svařovacím robotem použitým na pracovišti. Vzhledem k zadaným velikostem dílců se předpokládá použití některého modelu z řady robotů IRB 4600 od firmy ABB, jejichž maximální odchylky se pohybují kolem 0,8 – 1 mm. Pro přípravek o hmotnosti 1000 kg, s těžištěm uvažovaným v osách polohovadla, proto byla stanovena přípustná odchylka v místech svarů vlivem zatížení polohovadla rovněž do 1 mm.

Celková konstrukce polohovadla se skládá ze čtyř hlavních částí – viz obrázek 7.2. Detailnější pohled na jednotlivé komponenty, jejich spojení apod. bude rozebrán v rámci optimalizace polohovadla v této kapitole.



Obrázek 7.2 Dílčí části polohovadla

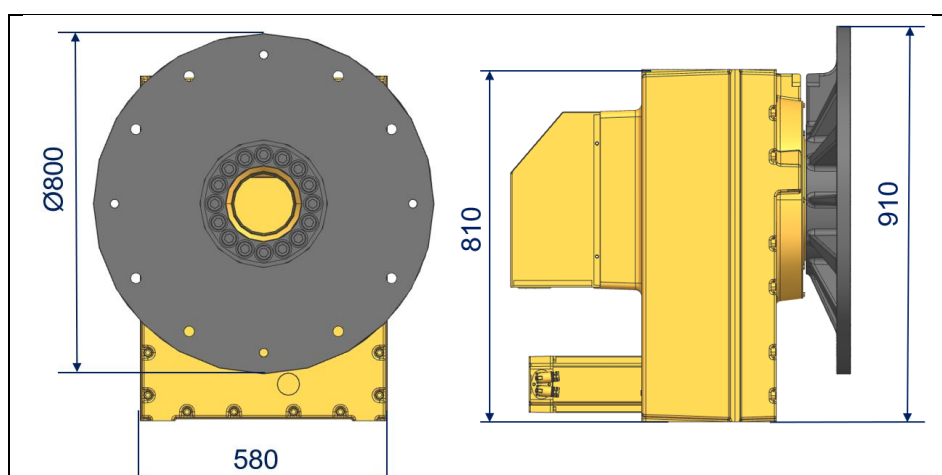
Polohovadlo MTD 2000 (parametry již byly uvedeny dříve – viz tabulka 6.3), na němž bude umístěn samotný přípravek, je připevněno k otočnému L rameni.

Toto rameno není, na rozdíl od komponent ABB, nakupovaným dílcem. Jeho ideový návrh je tedy proveden v rámci této práce. S ohledem na požadavek hospodárnosti

a jednoduchosti celého pracoviště a procesu, je otočné rameno (stejně jako přípravek) řešeno jako stavebnicová konstrukce svařovaná z plechů. Logickým požadavkem je, aby rameno bylo dostatečně dlouhé pro možnost protočení maximální zadané úhlopříčné délky přípravku – tedy 2200 mm. Zároveň však nesmí vykazovat přílišný ohyb poté, co je na polohovadlo umístěn svařovací přípravek s dílcem.

L rameno je dále přírubově spojeno s druhým dílčím polohovadlem, jež tvoří druhou rotační osu. Zvolené polohovadlo je součástí stejné řady jako zmíněná menší jednotka nesoucí přípravek – jedná se o MTD 5000 (ABB). Jeho základní parametry a rozměry jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tabulka 7.1: Parametry polohovadla MTD 5000 [83]



Max. únosnost	5000 kg
Opak. přesnost na poloměru 500 mm	± 0.05 mm
hmotnost	770 kg

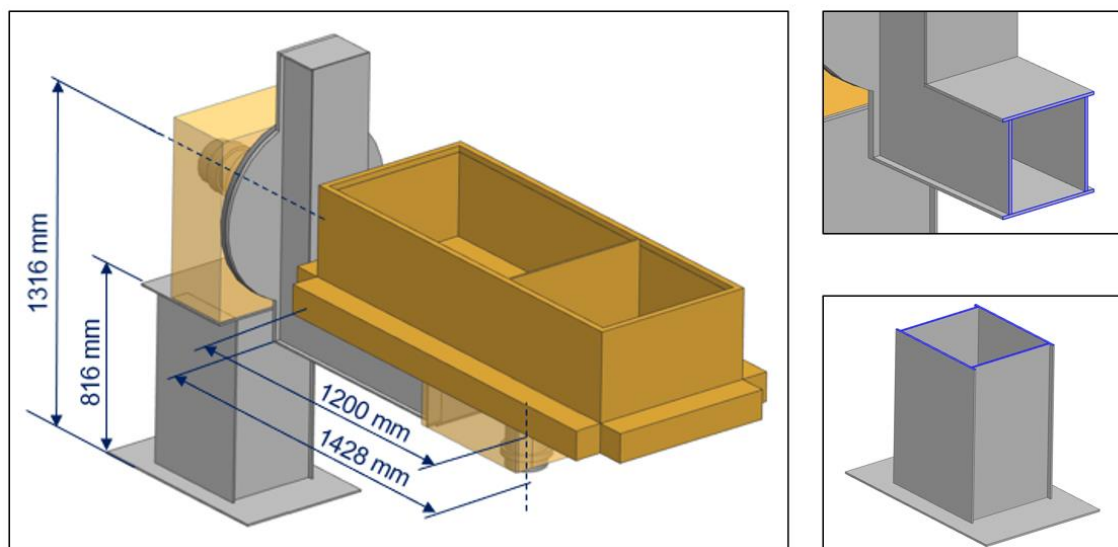
Celá sestava, tvořená otočným ramenem a dvěma dílčími polohovacími jednotkami, je následně umístěna na podstavci (opět svařovaná stavebnicová konstrukce), který musí být dostatečně vysoký na to, aby umožnil bezpečné protočení svařovacího přípravku nad podlahou.

Kompletní polohovadlo tedy obsahuje dvě nakupované firemní komponenty (MTD 2000, MTD 5000) a dvě komponenty vlastního návrhu (L rameno, podstavec). Cílem je upravit základní koncepci polohovadla do podoby zaručující přijatelnou přesnost po zatížení. Přesnost nakupovaných jednotek je dána výrobcem. Její hodnota bude později zohledněna, avšak v rámci odchylek polohovadla se jedná o pevně daný údaj, který není možné změnou konstrukce ovlivnit. Z tohoto důvodu bude hlavním

tématem následujících podkapitol především konečná podoba vlastních navrhovaných částí. Úkolem bude otestovat různé varianty provedení otočného ramene a podstavce a jejich postupnou optimalizací dospět k finální verzi polohovadla zaručující přijatelnou míru přesnosti pro přípravek o maximálních rozměrech a hmotnosti. Fakt, že při testování je těžiště přípravku uvažováno v průsečíku os polohovadla, pochopitelně snižuje obecnou vypovídací hodnotu. Přestože jsou mezní parametry specifikovány, mohou se jednotlivé přípravky lišit tvarem, a tedy i polohou těžiště. Postihnutí všech možných variant a získání spolehlivých zatěžovacích charakteristik polohovadla by vyžadovalo rozsáhlé testování přípravků s různými kombinacemi parametrů, jenž by šlo nad rámec této práce, jejímž cílem je především návrh a otestování jednoho modelového přípravku. Na rozdíl od konstrukce samotného svařovacího přípravku v 6. kapitole, zde proto nebude hlavním cílem detailní konstrukce navržených částí polohovadla, ale především identifikace vhodných postupů a konstrukčních úprav, které lze na polohovadle aplikovat v případě potřeby zvýšení přesnosti po zatížení svařovacími přípravky.

7.2.1 Výchozí varianta polohovadla

Výchozí varianta polohovadla (obr. 7.3) je prakticky shodná se základním koncepčním návrhem uvedeným dříve. V rámci testovacího modelu určeného pro MKP analýzu došlo k tvarovému zjednodušení polohovacích jednotek MTD (se zachováním původních proporcí, hmotností a uložení rotačních částí). Vlastní navrhované části (L rameno, podstavec) byly pro výpočtový model taktéž modelovány ve zjednodušené podobě zachovávající podstatné rysy a vazby.

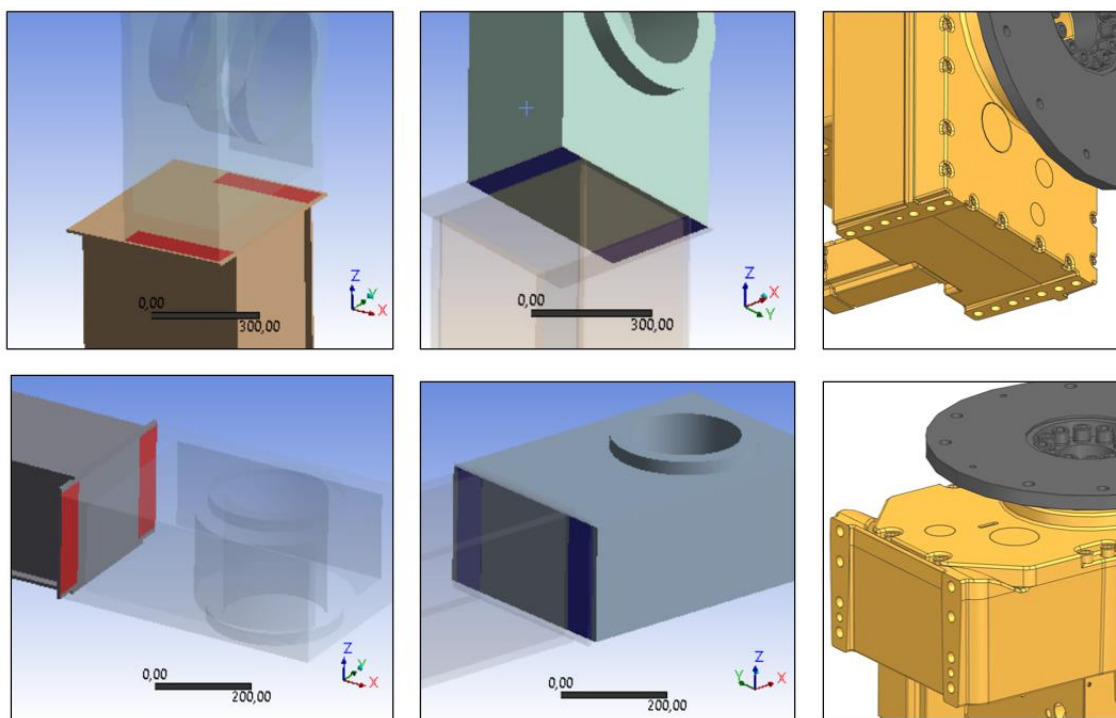


Obrázek 7.3: Výchozí varianta polohovadla

Jak již bylo zmíněno, podstavec polohovadla a otočné L rameno tvoří svařované stavebnicové konstrukce. Jednotlivé plechy o tloušťce 8 mm jsou před svařením do potřebného tvaru sestaveny pomocí zámků. Zjednodušený MKP model zámky a podobné konstrukční detaily neobsahuje, jelikož jejich vliv na deformační chování celé konstrukce je zanedbatelný.

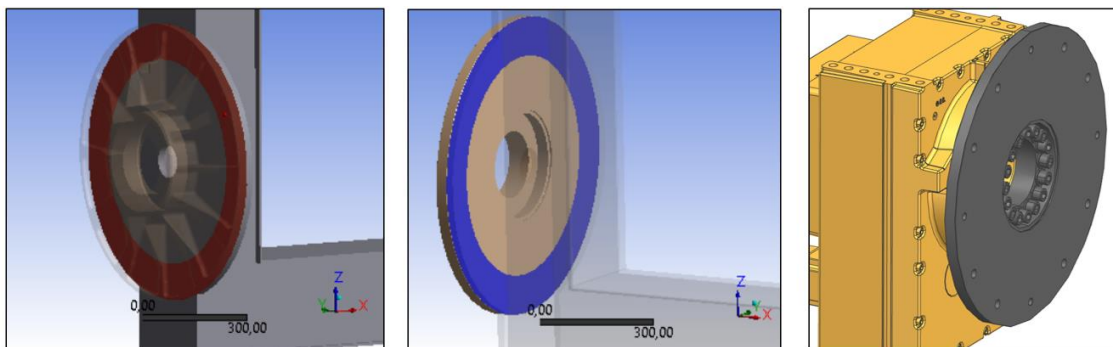
Na obrázku 7.3 jsou rovněž uvedeny základní rozměry navrženého polohovadla, z nichž důležité jsou především maximální protáčený poloměr v rámci L ramene (1200 mm) a výška osy otočného ramene nad podlahou (1316 mm). Tyto rozměry jsou navrženy tak, aby umožnily bezproblémové protočení přípravku s maximální úhlopříčnou délkou 2200 mm (a tedy maximálním protáčeným poloměrem 1100 mm) v obou osách.

Vytvořený testovací model byl následně exportován do programu Ansys Workbench 2021R, kde bylo úkolem podrobit jej MKP analýze v simulovaném zatíženém stavu. Prvním krokem bylo definování vazeb mezi jednotlivými částmi konstrukce. Obě dílčí polohovadla (MTD 5000 a MTD 2000) mají na každé straně sérii 12 připojovacích závitových děr pro šrouby M24. Spojení vazbou bonded, nahrazující pevná šroubová spojení podstavce a otočného ramene s rotačními jednotkami MTD, jsou zobrazena na obrázku 7.4.



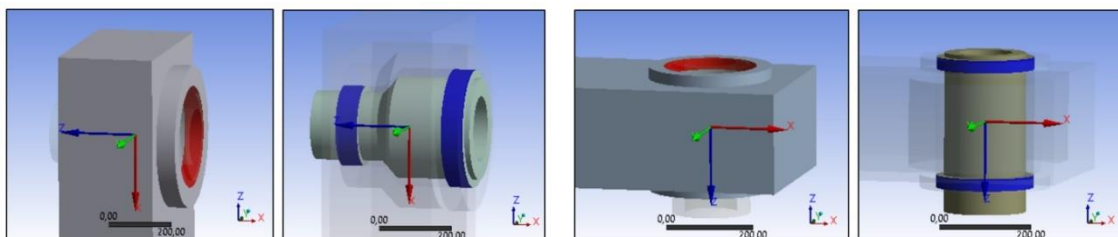
Obrázek 7.4: Spojení podstavce a otočného ramene s jednotkami MTD – vazba bonded

Stejným způsobem bylo provedeno připojení kruhové desky L ramene k rotační části polohovadla MTD 5000 (obr. 7.5).



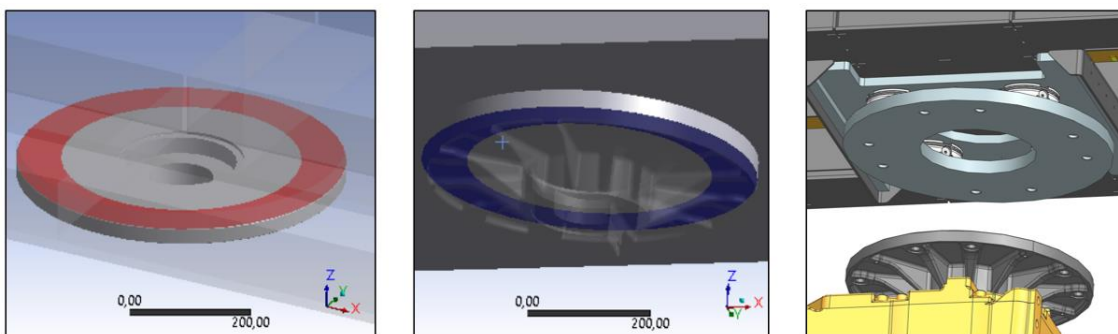
Obrázek 7.5 Spojení L ramene s polohovadlem MTD 5000 – vazba bonded

Pro uložení samotných hřídelí polohovacích jednotek byla definována příslušná rotační uložení v místech ložisek – viz obrázek 7.6.



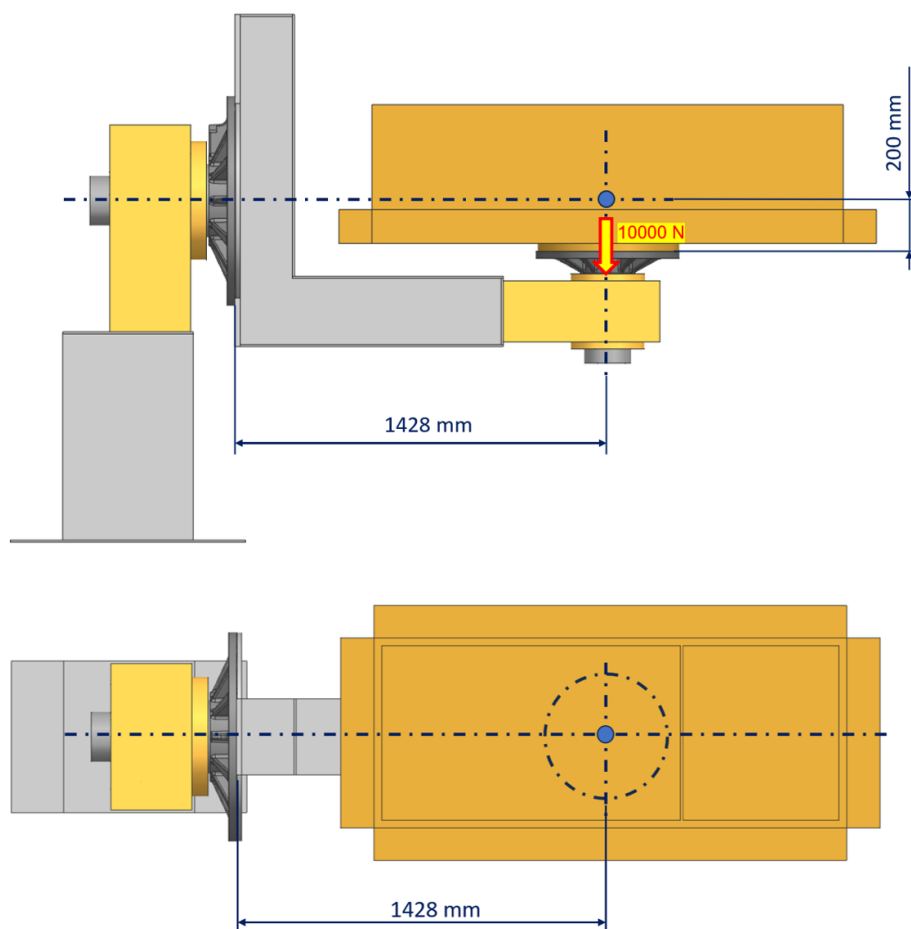
Obrázek 7.6: Uložení hřídelí polohovadel MTD 5000 a MTD 2000 – revoluce joint

Deska s upínacími moduly nesoucími přípravek je k rotační části MTD 2000 připojena skupinou šroubů. Toto spojení bylo opět nahrazeno vazbou bonded – viz obrázek 7.7.



Obrázek 7.7: Spojení upínací desky s polohovadlem MTD 2000 - bonded

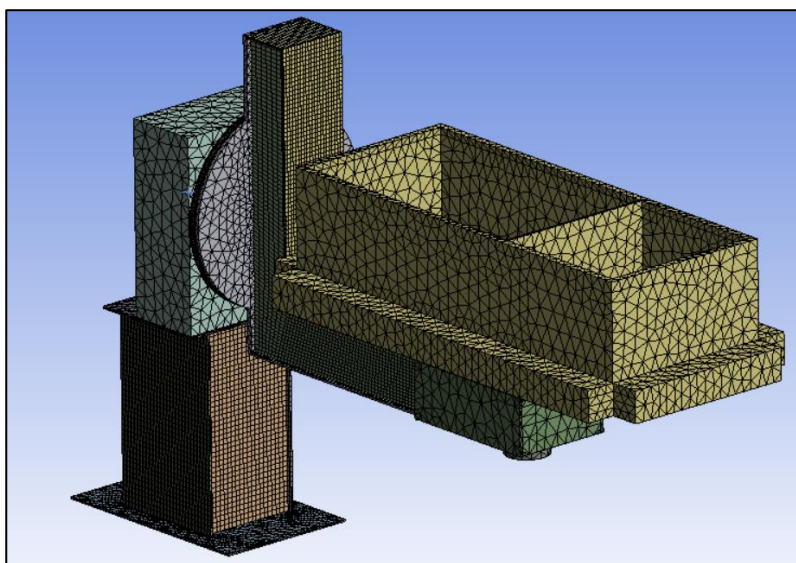
Cílem testování bylo určit maximální polohovou odchylku v místě svaru dílce vlivem deformací polohovadla. K zatížení byl použit zjednodušený model přípravku s maximálními zadanými rozměry a hmotností. Jak již bylo zmíněno, poloha těžiště daného přípravku je uvažována v osách polohovadla – viz obrázek 7.8.



Obrázek 7.8: Poloha těžiště testovacího přípravku

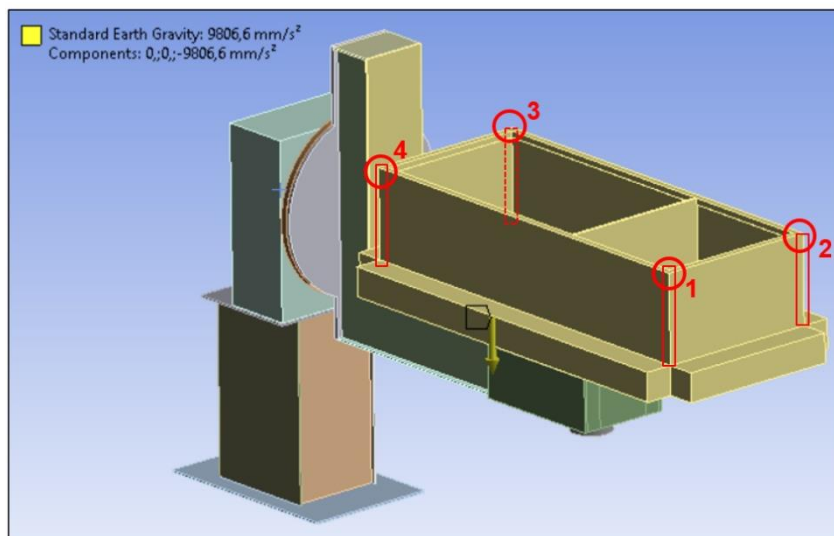
Jelikož v této fázi návrhu nebylo úkolem zjišťování deformací samotného přípravku, nýbrž pouze jeho posunutí v rámci polohovadla, byl celý přípravek s dílcem modelován jako absolutně tuhé těleso.

Na obrázku 7.9 je zobrazen kompletní MKP model včetně síťování.



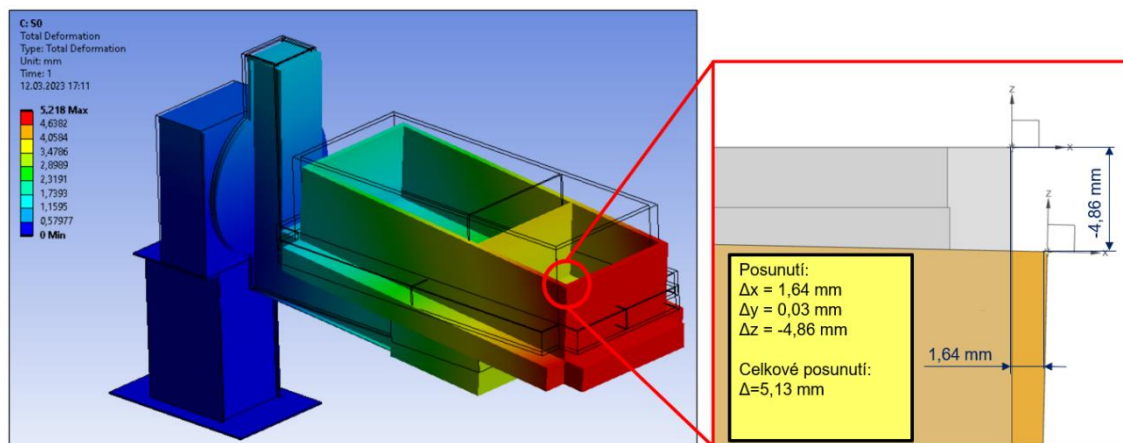
Obrázek 7.9: Síťovaný MKP model polohovadla

Polohovadlo bylo následně zatíženo vlastní vahou a zjišťována byla posunutí ve čtyřech bodech postranních svarů, kde lze očekávat největší nepřesnosti – viz obr. 7.10.



Obrázek 7.10: Zatížení polohovadla a sledovaná místa deformací

Výpočet ukázal, že k největším posunutím dochází v rohu č.1, respektive 2 – body těchto dvou svarů jsou tedy nejvíce vychýleny od své teoretické polohy. Hodnoty posunutí bodu 1 v jednotlivých směrech jsou uvedeny na obrázku 7.11.

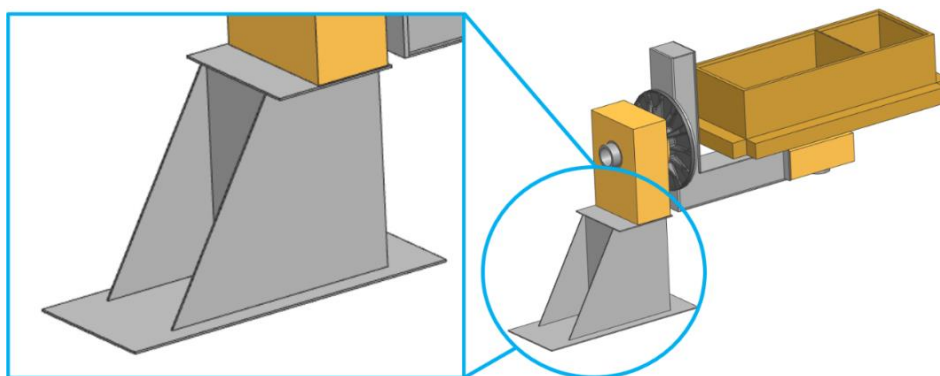


Obrázek 7.11: Maximální nepřesnost v místech svarů (výchozí varianta)

Maximální odchylka pozice svaru u výchozí varianty polohovadla vyšla 5,13 mm. Vzhledem k tomu, že cílem bylo dosáhnout limitního posunutí ideálně do 1 mm, je tato hodnota příliš vysoká. Tento výsledek bylo možné očekávat, jelikož základní varianta polohovadla neobsahuje prakticky žádná vyztužení a je značně poddajná. Pro zvýšení přesnosti bylo proto nutné provést konstrukční úpravy.

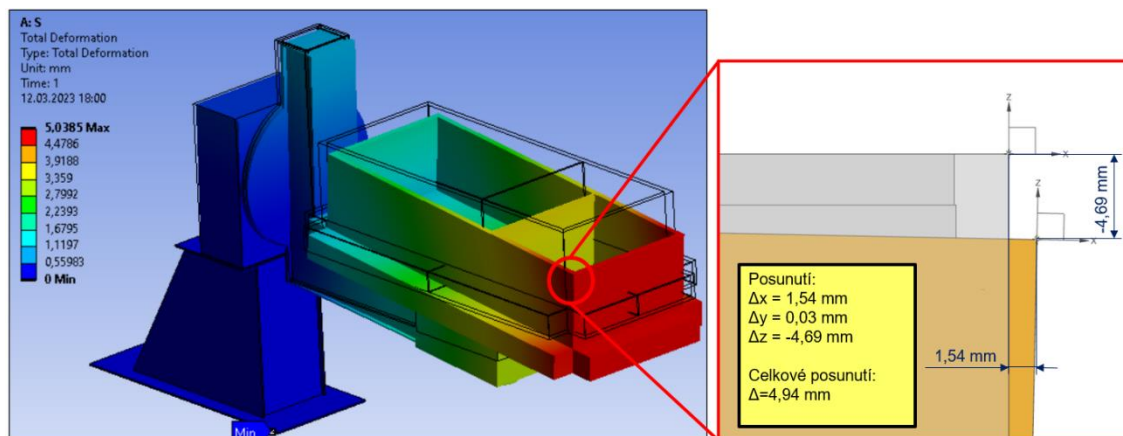
7.2.2 První varianta polohovadla

Další postup návrhu spočíval ve vytipování a následné aplikaci vhodných modifikací polohovadla, které mají vliv na jeho tuhost. První řešenou částí byl podstavec, jehož dosavadní tvar byl očividně poddajný. V rámci 1. varianty tedy došlo k vyztužení zadní části podstavce žebry (obrázek 7.12) a následnému otestování vlivu této úpravy na celkovou přesnost.



Obrázek 7.12: Vyztužení podstavce žebry

Výsledky MKP analýzy polohovadla s vyztuženým podstavcem jsou uvedeny na obrázku 7.13.

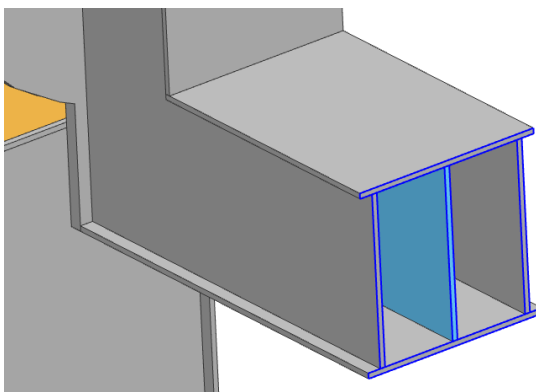


Obrázek 7.13: Maximální nepřesnost v místech svaru (1. varianta)

Je patrné, že samotná úprava podstavce nemá významný vliv na celková posunutí v místech svaru po zatížení polohovadla. Došlo pouze k mírnému snížení celkové odchylky na 4,94 mm. Z tohoto důvodu byla daná modifikace pro další varianty zachována, avšak ke zvýšení přesnosti bylo třeba využít dalších konstrukčních úprav.

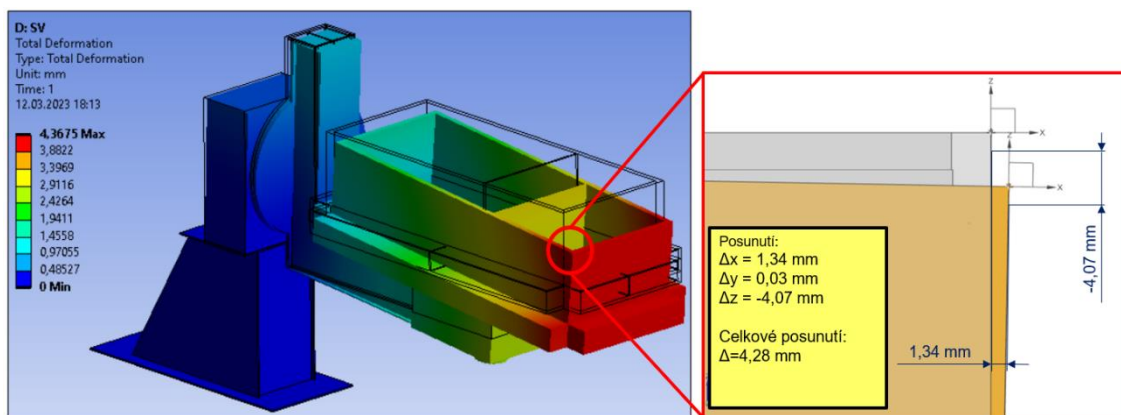
7.2.3 Druhá varianta polohovadla

Další úprava se již týkala samotného L ramene, které bylo vyztuženo dalším příčným žebrem tvaru L uprostřed dosavadní konstrukce. Profil upraveného ramene je zobrazen na obrázku 7.14.



Obrázek 7.14: Vyztužení L ramene žebrem uprostřed

Hodnoty největších odchylek v místě svaru po dané úpravě L ramene ukazuje výsledek MKP analýzy na obrázku 7.15.



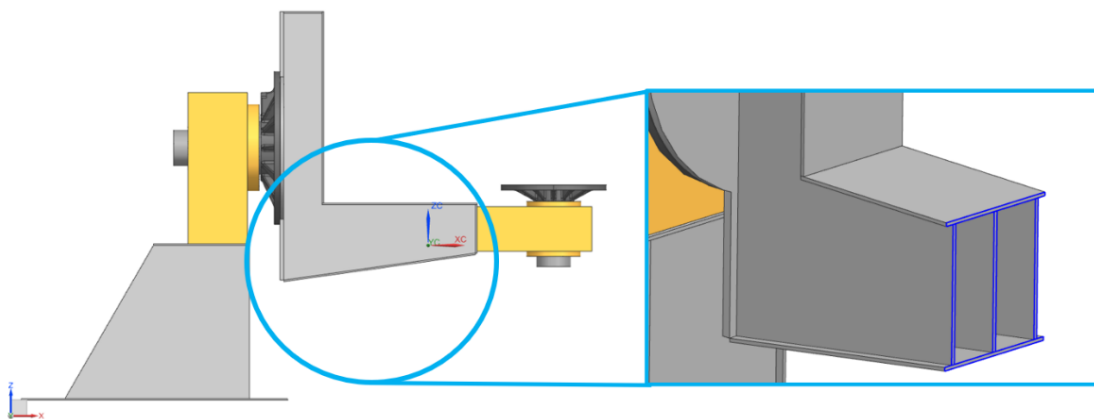
Obrázek 8.15: Maximální nepřesnost v místech svaru (2. varianta)

Z výsledků vyplývá, že ani vyztužené L rameno dostatečně nesnižuje celkové polohové odchylky vznikající po zatížení polohovadla.

7.2.4 Třetí varianta polohovadla

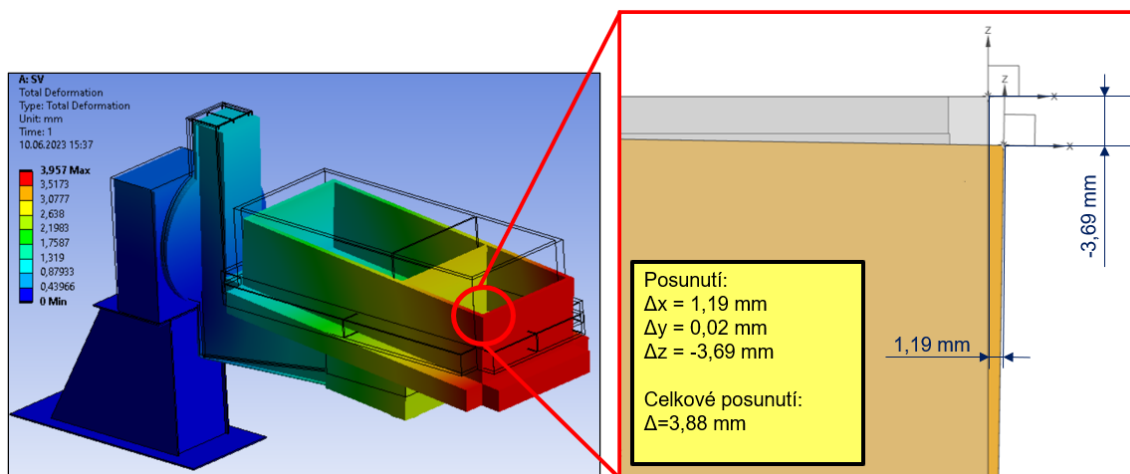
Vzhledem k tomu, že samotné výztuhy pomocí žebel se ukázaly při daném uspořádání jako málo účinné, bylo třeba otestovat, jaký vliv na poddajnost budou mít případné změny tvaru L ramene, které tvoří nejpoddajnější část.

Vyztužené L rameno bylo tedy upraveno přibližně do tvaru nosníku stálé pevnosti se snižujícím se průřezem směrem ke konci – viz obrázek 7.16.



Obrázek 7.16: Rozšíření L ramene do tvaru nosníku stálé pevnosti

Výsledky a vliv provedené úpravy na přesnost ukazuje obrázek 7.17.



Obrázek 7.17: Maximální nepřesnost v místech svaru (3. varianta)

Je zřejmé, že přestože všechny dosavadní modifikace přispěly ke snížení maximálních polohových odchylek v místech svarů, nejsou tyto úpravy samy o sobě dostatečné pro dosažení požadované přesnosti polohovadla. Navíc je třeba zohlednit, že dosavadní testování byl provedeno pouze pro základní pozici přípravku v polohovadle. V polohách, kdy bude polohovadlo např. natočeno o 90° budou výsledné nepřesnosti téměř jistě ještě vyšší.

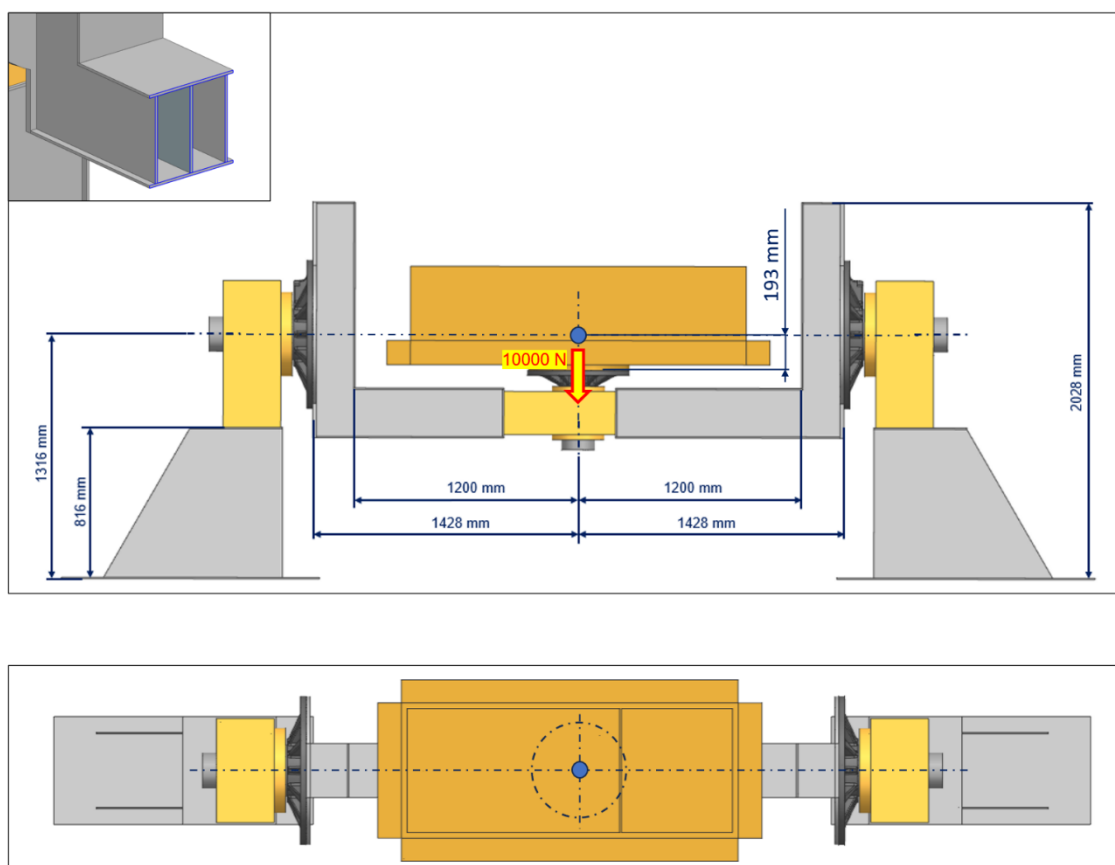
7.2.5 Čtvrtá varianta polohovadla

Vzhledem k poznatkům získaným z dosavadních analýz bylo nutné uvažovat o jiném typu zásadnějších konstrukčních úprav celého polohovadla, které by zajistily dostatečnou prostorovou přesnost neseného přípravku s dílcem.

Limitací byl požadavek, aby celé pracoviště včetně přípravku bylo konstruováno co nejvíce ekonomicky – tedy jako stavebnicové svařované konstrukce z plechů dostatečně

tenkých pro technologii vypalování laserem. Proto nebylo možné pro konstrukci L ramene polohovadla zvolit např. obráběné dílce, odlitky apod., ani výrazně zvyšovat tloušťku použitých plechů.

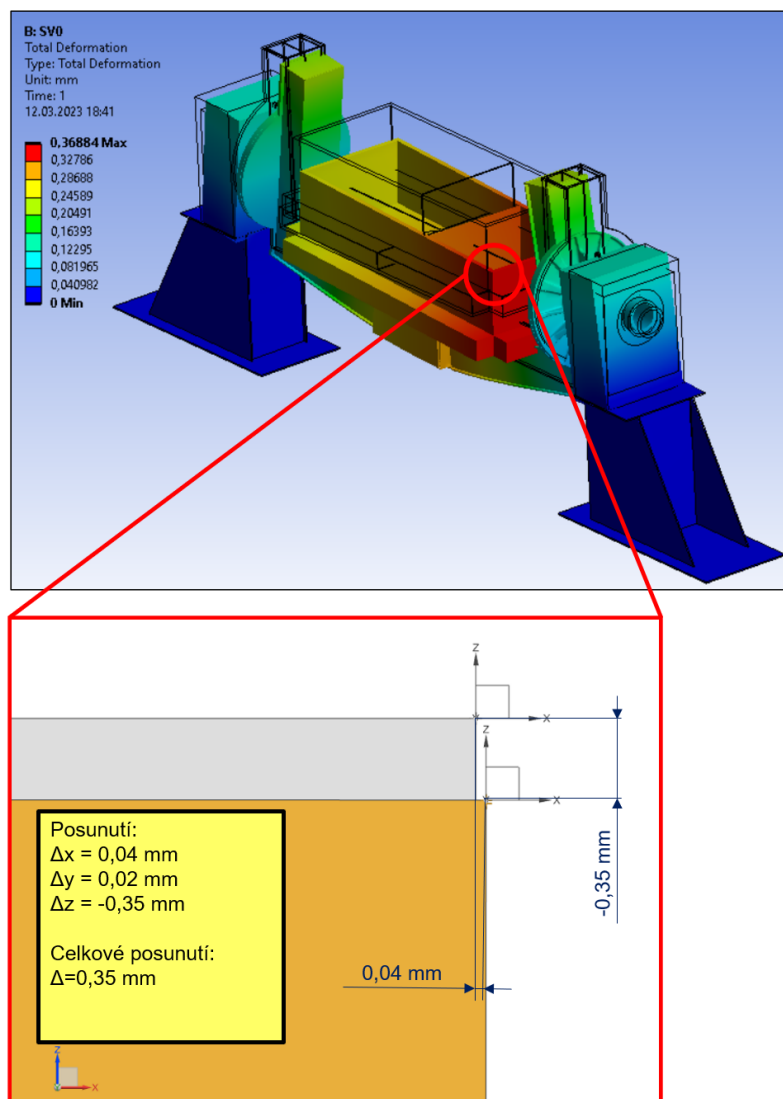
Z tohoto důvodu se přistoupilo k celkové úpravě koncepce pracoviště, kdy bylo dosavadní jednostranné polohovadlo změněno na polohovadlo s oboustranným podepřením – viz obr. 7.18.



Obrázek 7.18: Polohovadlo s oboustranným podepřením

Tento nový návrh v podstatě využívá dvou dosavadních jednostranných polohovadel s L rameny, z nichž poháněné může být jedno a druhé může sloužit pouze jako podpůrné uložení. Obě L ramena jsou na konci připojena k dílčí jednotce MTD 2000 nesoucí přípravek a tvoří tak jedinou rotační část polohovadla tvaru C.

Výpočet MKP pro určení odchylek byl proveden pro stejný testovací přípravek jako dosud se stejnými nastavenými parametry – jeho výsledek je na obrázku 7.19.



Obrázek 7.19: Maximální nepřesnost v místech svaru (4. varianta)

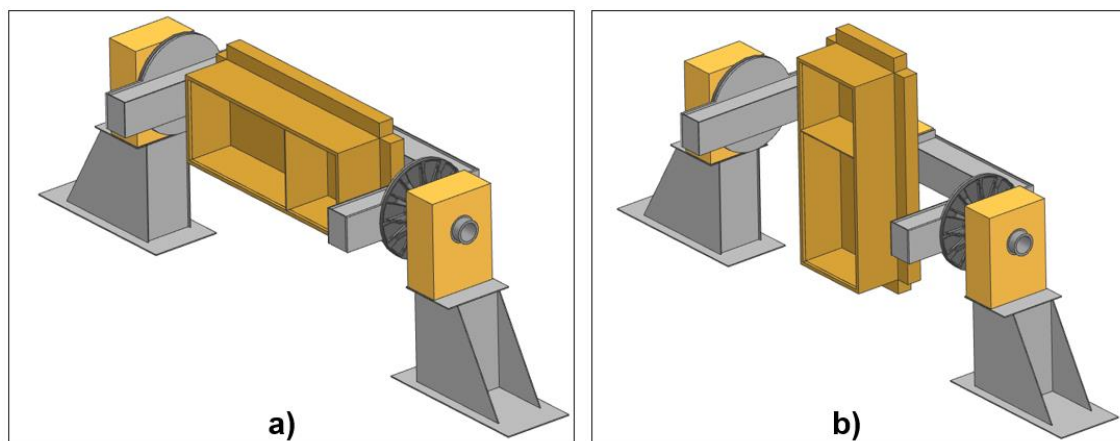
Z výsledků je patrné, že největší odchylka v místě svaru ($\Delta = 0,35 \text{ mm}$) je o řád nižší než v případě jednostranně uložené rotační části polohovadla. Tato hodnota by již vyhovovala nárokům na maximální nepřesnost polohovadla vlivem zatížení 1 mm.

Pro správnou funkčnost pracoviště však bylo především důležité zjistit, jak se bude polohovadlo s přípravkem deformovat během samotného pracovního procesu – tedy v situacích, kdy jsou rotační jednotky natočeny vůči svařovacímu robotu.

Jako dva krajní případy byly vybrány polohy, kdy je:

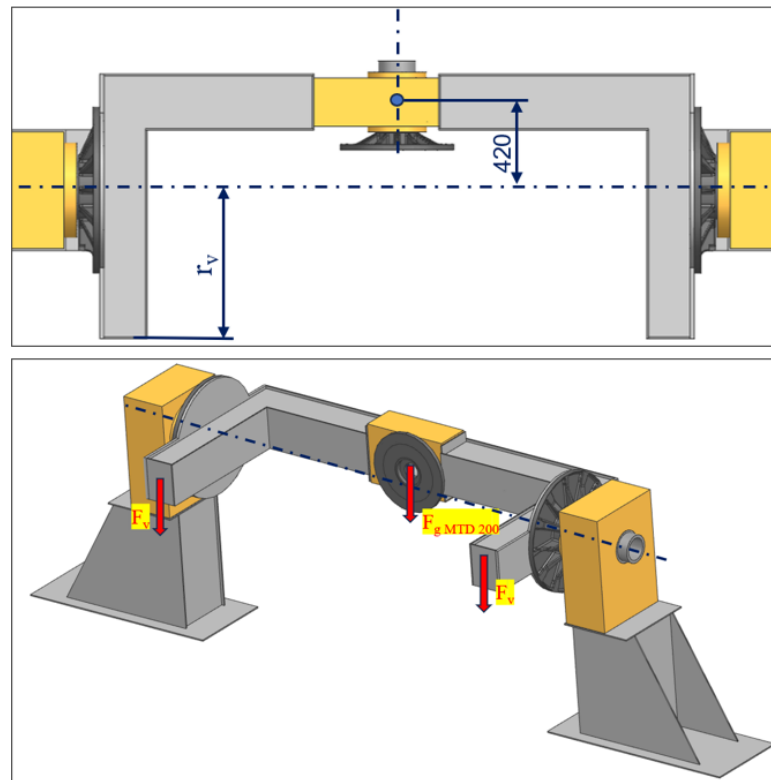
- Rotační jednotka MTD 5000 natočena o 90° vůči základní pozici – natočení o 90° v jedné ose
- Obě rotační jednotky (MTD 5000, MTD 2000) jsou natočeny o 90° vůči základní pozici – natočení o 90° ve dvou osách

Uvedené testovací polohy jsou zobrazeny na obrázku 7.20.



Obrázek 7.20: Testovací pozice polohovadla – a) natočení 90° v jedné ose, b) natočení o 90° ve dvou osách

V případě natočení jednotky MTD 5000 (a tedy i celé rotační části) působí na polohovadlo kroučící moment od zátěže, vyvozený vlastní hmotností rotační části - především jednotky MTD 2000 (případně i hmotností přípravku, pokud by se jeho těžiště nenacházelo v ose polohovadla). Kvůli kompenzaci tohoto momentu byla v horních částech L ramen předpokládána rozhraní pro umístění vyrovnávacích závaží (konkrétní konstrukční provedení bude řešeno později). Schematické zobrazení působení zátěžných a vyvažovacích momentů na polohovadle je na obr. 7.21.



Obrázek 7.21: Zátěžné ($F_{g, MTD 2000}$) a vyvažovací (F_v) síly působící na polohovadle v poloze natočení o 90°

Při návrhu bylo třeba najít kompromis mezi použitou hmotností a polohou daných závaží, jelikož svislé části L ramen mají omezenou maximální délku kvůli protočení nad podlahou. Počítáno bylo s celkovou hmotností vyrovnávacích závaží 200 kg (100 kg na každém rameni), z čehož byla následně vypočtena potřebná délka ramene.

Zátěžný moment od hmotnosti jednotky MTD 2000:

$$m_{MTD2000} = 340 \text{ kg} - \text{hmotnost jednotky MTD 2000}$$

$$r_{MTD2000} = 0,42 \text{ m} - \text{vzdálenost těžiště MTD 2000 od osy otáčení polohovadla}$$

$$F_{g \text{ MTD } 2000} = m \cdot g = 340 \cdot 9,81 = 3335,4 \text{ N} \quad (7.1)$$

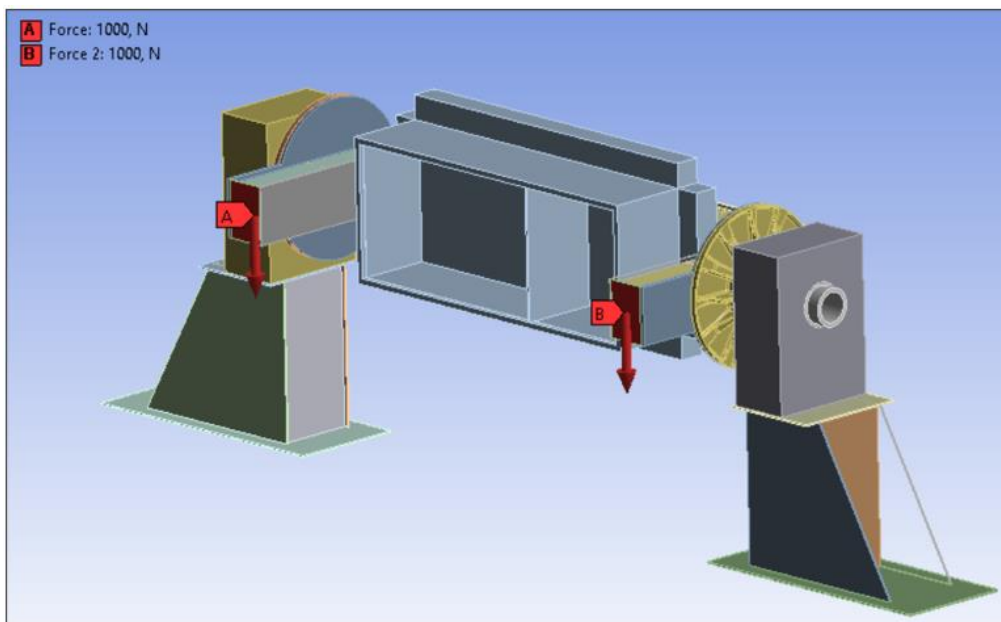
$$M_{MTD \text{ 2000}} = F_{g \text{ MTD } 2000} \cdot r = 3335,4 \cdot 0,42 = 1401 \text{ Nm} \quad (7.2)$$

Rameno pro vyrovnávací závaží:

$$m_v = 200 \text{ kg} - \text{celková hmotnost vyrovnávacích závaží}$$

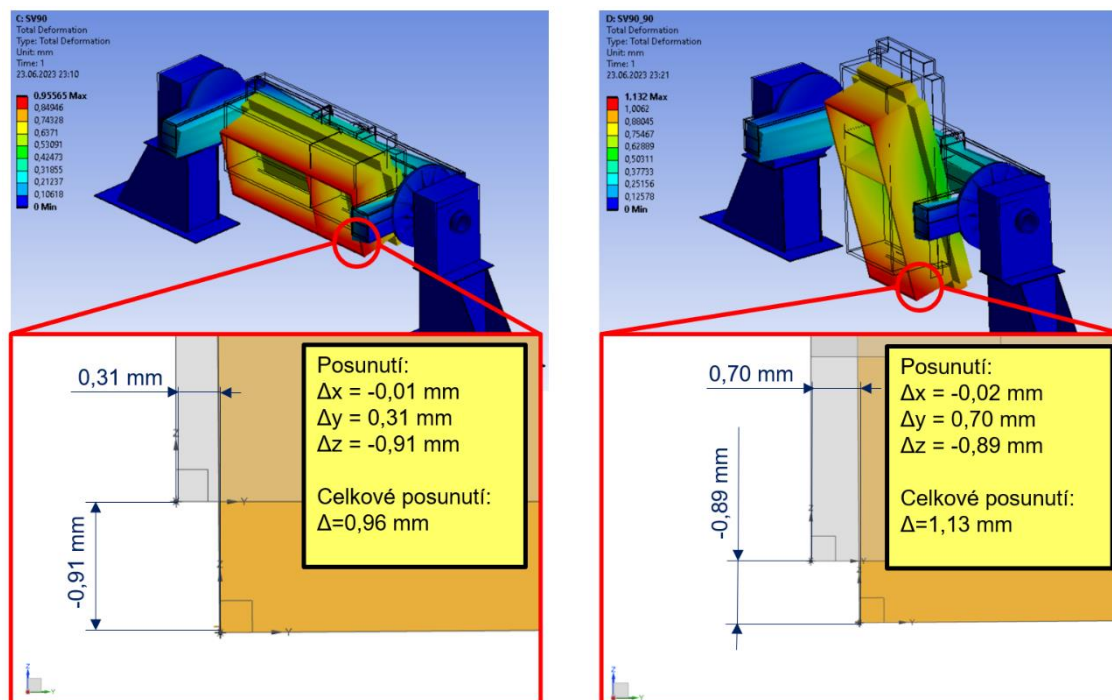
$$r_v = \frac{M_{MTD \text{ 2000}}}{m} = \frac{1401}{200} = 0,7 \text{ m} = 700 \text{ mm} \quad (7.3)$$

Vypočtená délka ramen pro vyrovnávací závaží $r_v = 700 \text{ mm}$ vyhovuje z hlediska povoleného poloměru protáčeného nad podlahou (cca 1300 mm). Zavedení sil od vyvažovacích závaží do MKP modelu je znázorněno na obrázku 7.22.



Obrázek 7.22: Zavedení vyrovnávacích sil do MKP modelu

Výsledky MKP výpočtu pro polohovadlo natočené: a) o 90° v jedné ose a b) natočené o 90° ve dvou osách jsou na obrázku 7.23. Uvedeny jsou hodnoty maximálních polohových odchylek v místě svaru.

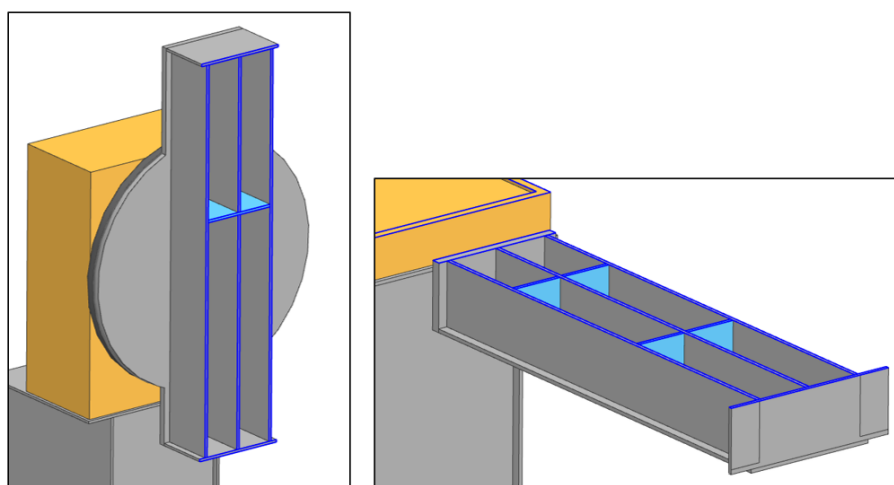


Obrázek 7.23: Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (4. varianta)

Nejvyšší nepřesnost vzniká při natočení o 90° ve dvou osách. Její hodnota $\Delta = 1,13$ mm značí relativně vysokou tuhost polohovadla i při natočení z výchozí pozice. K dosažení žádané přesnosti do 1 mm je však nutné sestavu více vyztužit pro daný charakter zatížení.

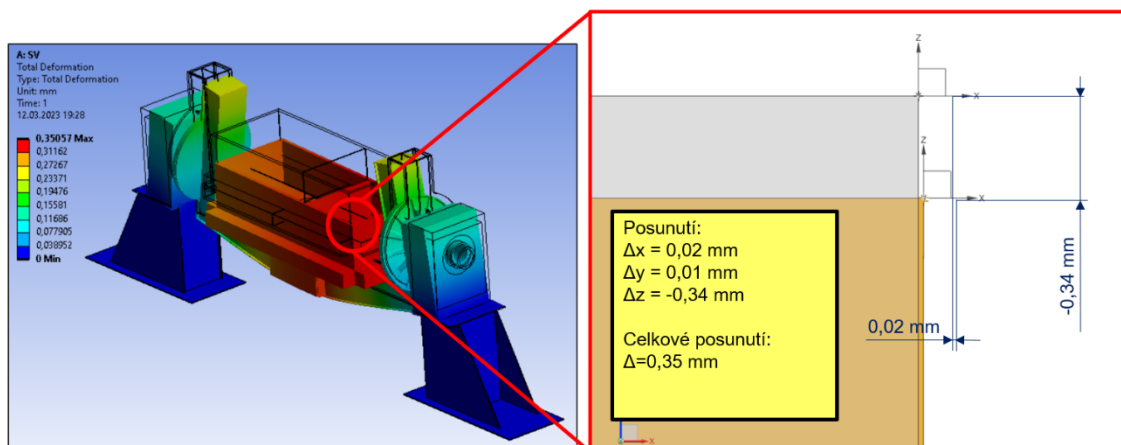
7.2.6 Pátá varianta polohovadla

Potřebné vyztužení L ramen bylo provedeno přidáním tří příčných žebër do stávající konstrukce – viz obrázek 7.24.



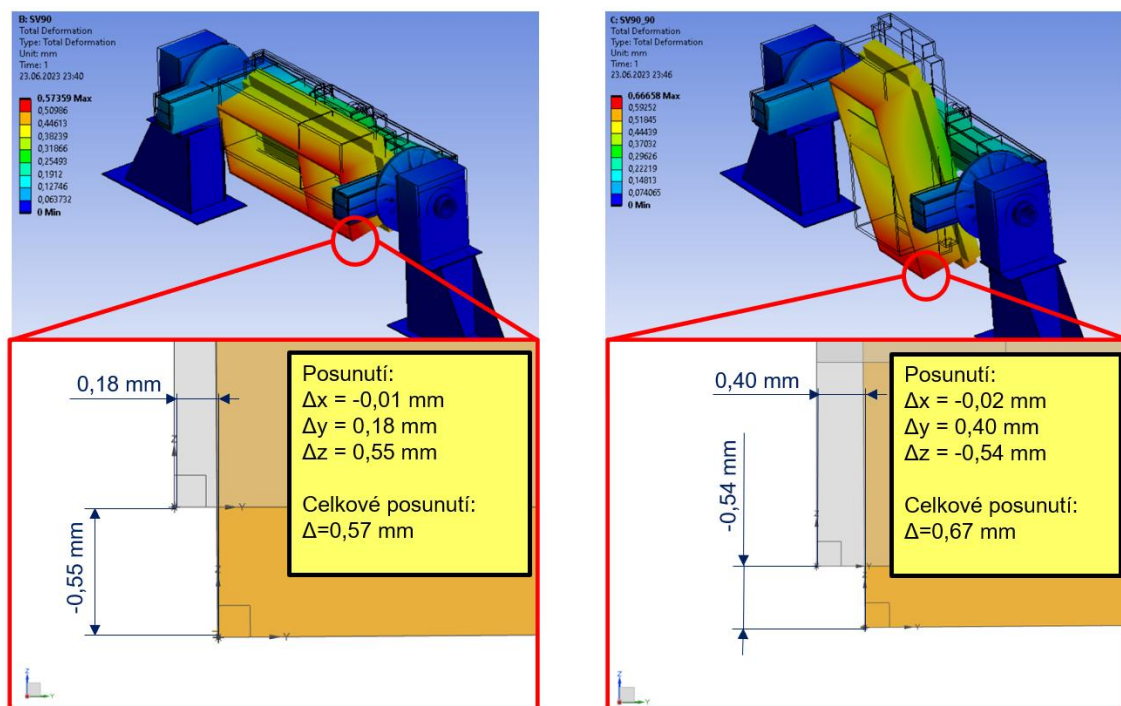
Obrázek 7.24: Příčné vyztužení L ramen

Výsledek MKP analýzy pro výchozí pozici polohovadla je na obrázku 7.25.



Obrázek 7.25: Maximální nepřesnost v místech svaru (5. varianta)

Je patrné, že hodnota polohové odchylky zůstala pro výchozí pozici nezměněna, což bylo očekáváno, jelikož vzhledem ke směru přidávaných výztužných žebër lze jejich účinek očekávat především při natočeném polohovadle – viz obrázek 7.26.



Obrázek 7.26: Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (4. varianta)

V polohách s natočeným polohovadlem o 90° v jedné i ve dvou osách tentokrát došlo ke snížení maximálních odchylek pod požadovanou mez 1 mm. Lze tedy konstatovat, že navržené polohovadlo je možné při zachování dostatečné přesnosti použít pro polohování se svařovacími přípravky o hmotnosti do 1000 kg (včetně dílce) s těžištěm v průřezu obou os otáčení. Pro přípravky s výraznější excentricitou nebo vyložením těžištěm by

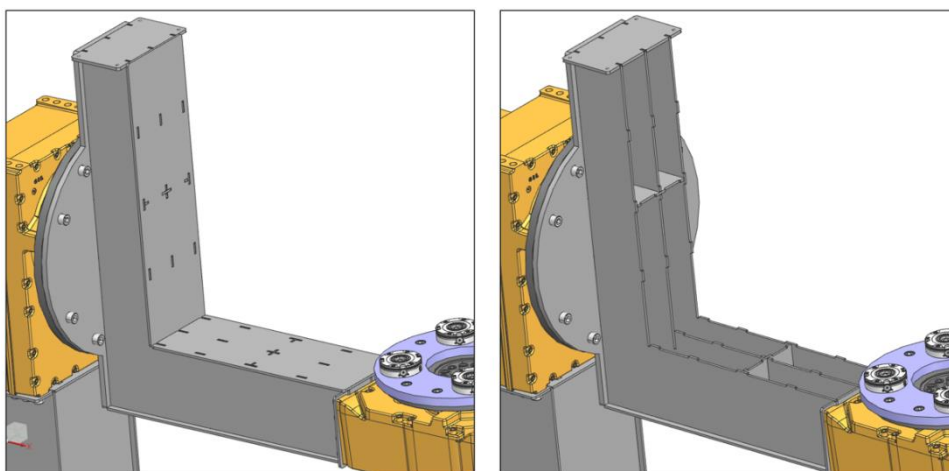
bylo nutné provést další kontrolní testy a určit maximální možné hmotnosti přípravků s dílci v závislosti na poloze těžiště.

Jelikož pátá varianta zaručuje dobrou kinematickou variabilitu a zároveň dosahuje uspokojivé přesnosti po zatížení přípravkem, byla tato verze polohovadla vybrána pro použití na navrhovaném svařovacím pracovišti.

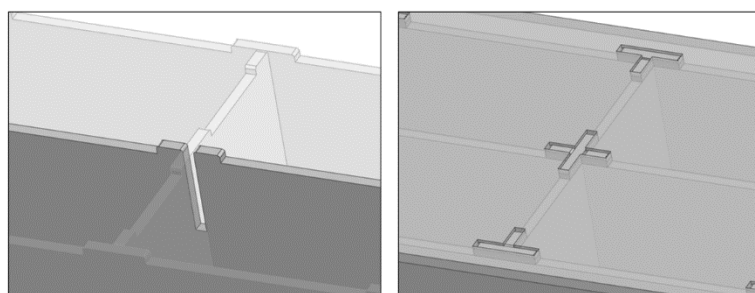
7.2.7 Rozpracování finální varianty

Dalším úkolem bylo podrobněji objasnit konstrukci daného polohovadla a otestovat jeho přesnost pro modelový přípravek navržený v kapitole 6.

Na obrázku 7.27 je zobrazeno navrhované L rameno. Jak již bylo uvedeno, jedná se o svařovaný dílec stavebnicově složený z plechů o tloušťce převážně 8 mm. Vnější i vnitřní kontury plechů (např. zámky pro sestavení jednotlivých plechů dohromady) jsou vypalované laserem. Detailnější pohled na konstrukci zámků je na obrázku 7.28.

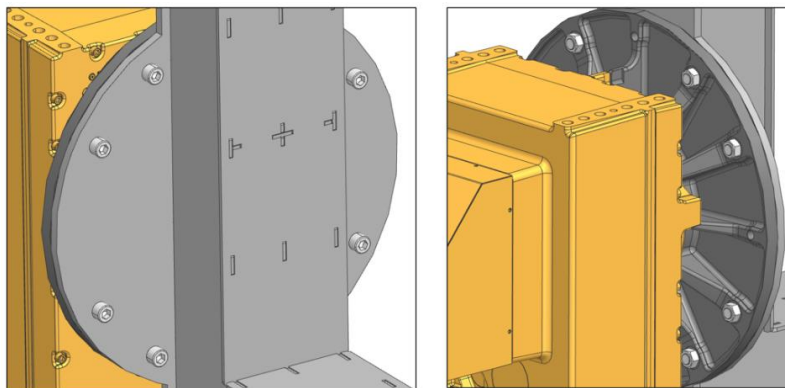


Obrázek 7.27: Detailnější návrh L ramene



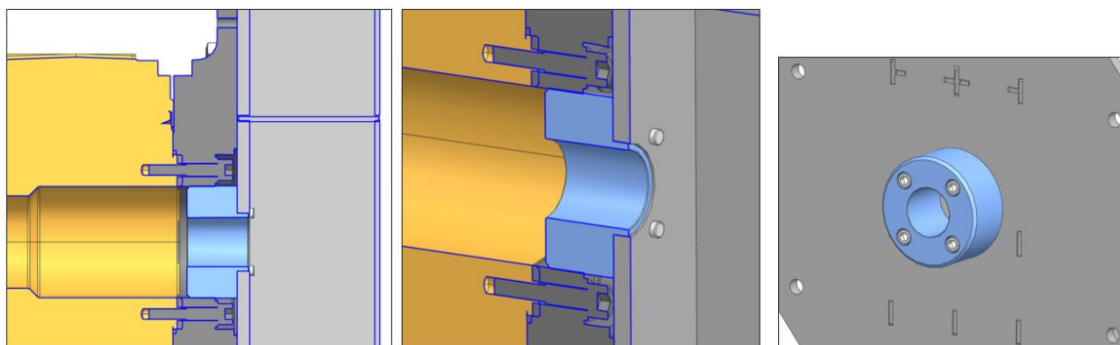
Obrázek 7.28: Zámky pro stavebnicové sestavení plechů

Způsob připojení L ramene k rotační části polohovadla MTD 5000 ukazuje obrázek 7.29. Spojení je realizováno pomocí šroubů M24 umístěných na kružnici o průměru 695 mm.



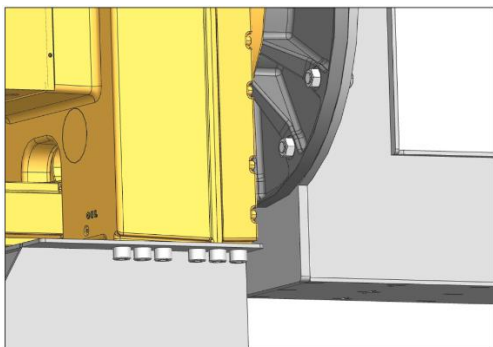
Obrázek 7.29: Připojení L ramene k polohovací jednotce MTD 5000

Pro přesné vystředění rotačního disku MTD 5000 a připojovací příruba bylo v zadní části L ramene navrženo připojení speciální středící příruba zapadající do kruhového otvoru v disku – viz obrázek 7.30. Tato příruba je k již svařnému L rameni připojena čtveřicí šroubů M15. Z tohoto důvodu má zadní připojovací plech L ramene větší tloušťku (20 mm) než ostatní plechy, jelikož bude obsahovat závitové díry pro připojení středící příruba.

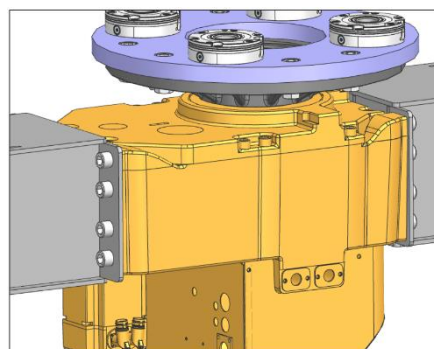


Obrázek 7.30: Středící příruba

Obrázky 7.31 a 7.32 ukazují připojení rotační jednotky MTD 2000 k L rameni a MTD 5000 k podstavci. Konstrukce podstavce je pak principiálně stejná jako v případě ramen – stavebnicová svařovaná konstrukce z plechů tloušťky 8 mm.

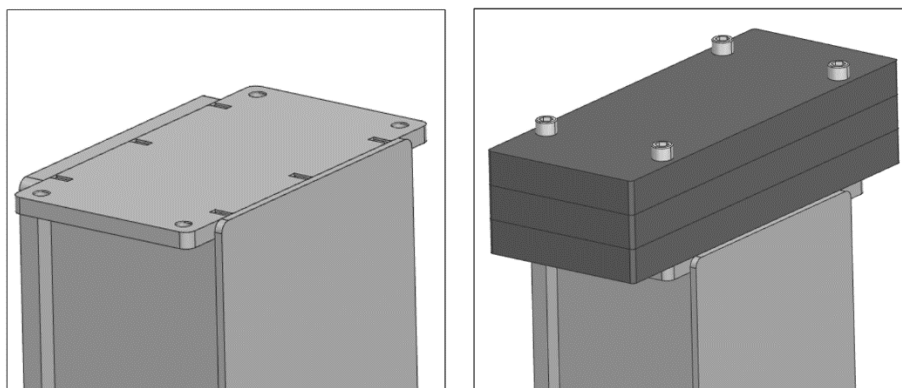


Obrázek 7.31: Připojení MTD 5000 k podstavci



Obrázek 7.32: Připojení MTD 2000 k L ramenům

Řešeno bylo také umístění dříve zmíněných protizávaží na L ramena polohovadla. K tomuto účelu byly v horní části každého ramene zhotoveny čtyři závitové díry M16 umožňující pomocí sady šroubů připojení libovolného počtu závažových desek – např. dle obrázku 7.33.



Obrázek 7.33: Připojení protizávaží na L ramena

7.3 Kontrola limitů dosažitelné přesnosti na zvoleném dílci

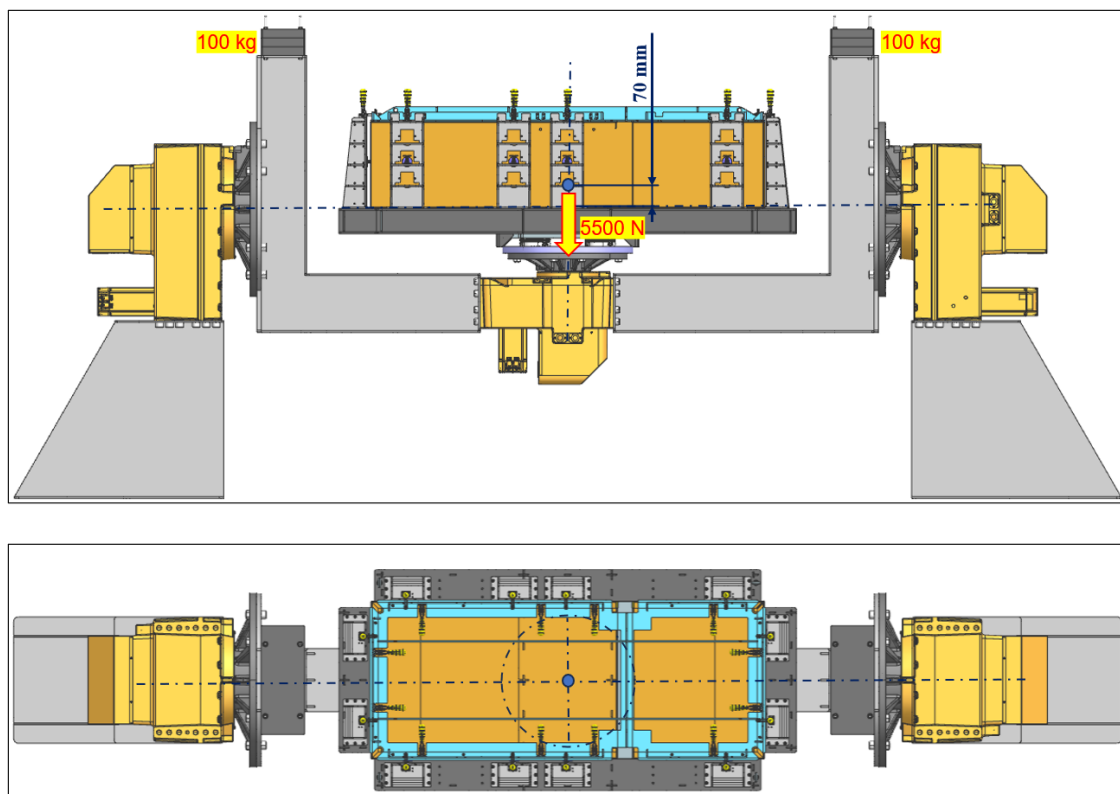
V rámci návrhu polohovadla byla určena nepřesnost samotného navrženého polohovadla, vzniklá po zatížení přípravkem o maximální hmotnosti 1000 kg.

Pro kompletní závěr ohledně možnosti svařování tenkostěnných dílců OS na pracovišti bylo však třeba zohlednit i další zdroje polohových chyb vzniklých na přípravku i polohovadle. Tato analýza byla provedena na dříve vybraném modelovém dílci umístěném ve vzorovém přípravku a zahrnuje odchylky mechanické stavby polohovadla vlivem zatížení, odchylky přípravku vlivem zatížení, chyby dílčích polohovacích jednotek MTD a svařovacího robotu. Výsledkem je hodnota maximální celkové polohové odchylky vznikající na modelovém dílci během procesu svařování a její vliv na postup a proveditelnost svařovací operace.

7.3.1 Chyby mechanické stavby polohovadla

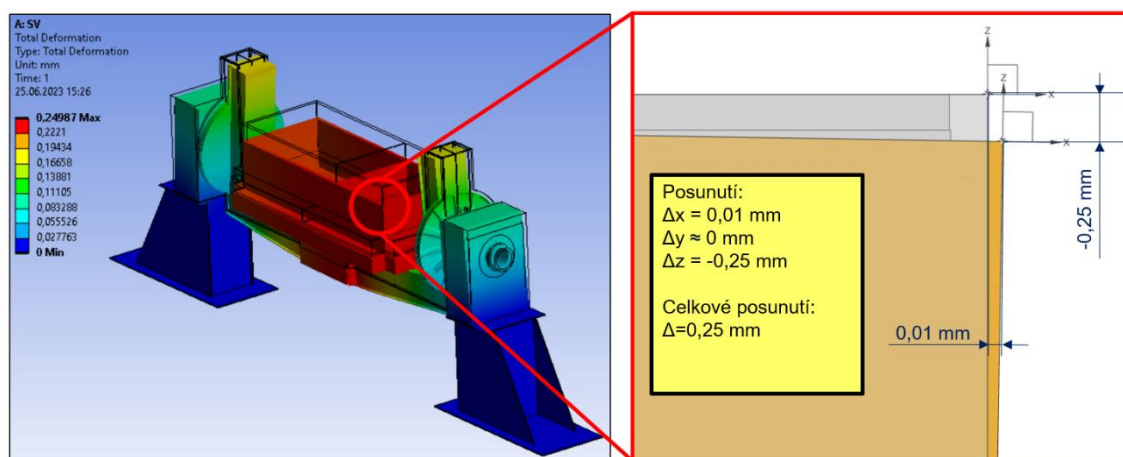
Deformace finální varianty polohovadla při zatížení je jednou částí vyhodnocované celkové nepřesnosti navrženého modelového přípravku.

Jelikož v rámci návrhu byla finální varianta polohovadla testována na stanovené maximální zatížení (přípravek: $m = 1000$ kg), bylo pro zjištění potřebných hodnot třeba provést analýzu polohovadla s upnutým modelovým přípravkem ($m=550$ kg) – viz obrázek 7.34.

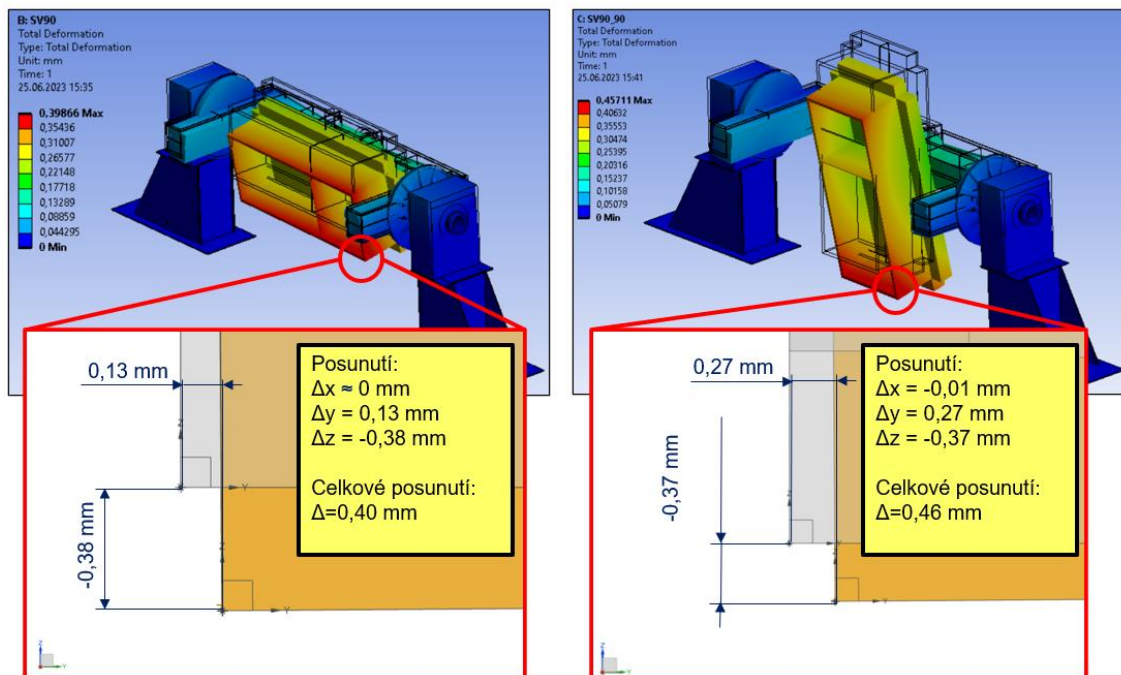


Obrázek 7.34: Finální varianta polohovadla s upnutým modelovým přípravkem a dílcem

Výsledky MKP výpočtu maximálních polohových odchylek v místech svarů při použití modelového přípravku jsou pro jednotlivé testovací pozice polohovadla uvedeny na obrázcích 7.35 a 7.36.



Obrázek 7.35: Maximální nepřesnost v místech svaru (finální varianta - modelový přípravek)



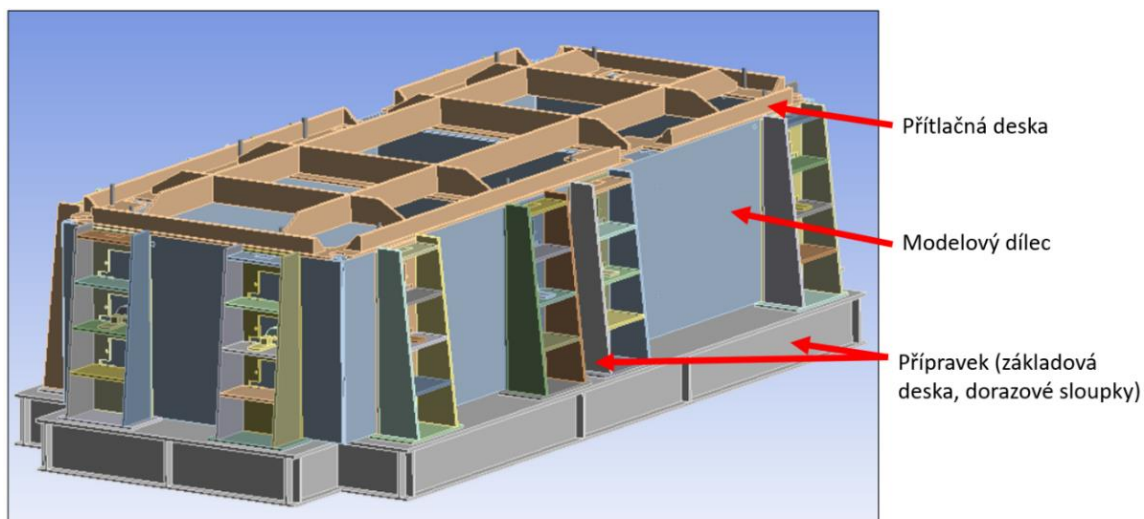
Obrázek 7.36: Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (modelový přípravek)

K největší nepřesnosti v místě svaru podle očekávání opět dochází v poloze, kdy je polohovadlo natočené o 90° v obou osách. Hodnota maximální odchylky $\Delta = 0,46$ mm značí, že navržené polohovadlo zaručuje dostatečně přesnou manipulaci s modelovým svařovacím přípravkem.

7.3.2 Chyby způsobené přípravkem

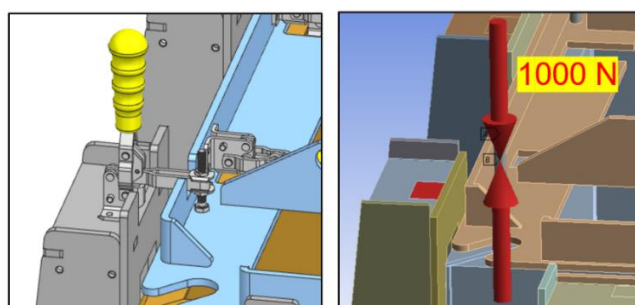
V rámci analýzy celkové polohové přesnosti dosahované na navrženém svařovacím přípravku bylo dalším krokem určení maximálních posunutí samotného svařovaného dílce založeného v přípravku.

Pro tuto analýzu byl, stejně jako v případě polohovadla, vytvořen zjednodušený MKP model přípravku a svařovaného dílce zachovávající podstatné konstrukční rysy a působící síly. Navržený model se skládá ze tří hlavních částí, kterými jsou: vlastní těleso přípravku (tvořené jako jeden celek základovou deskou a dorazovými sloupky), horní přítlačná deska a svařovaný plechový dílec – viz obrázek 7.37.

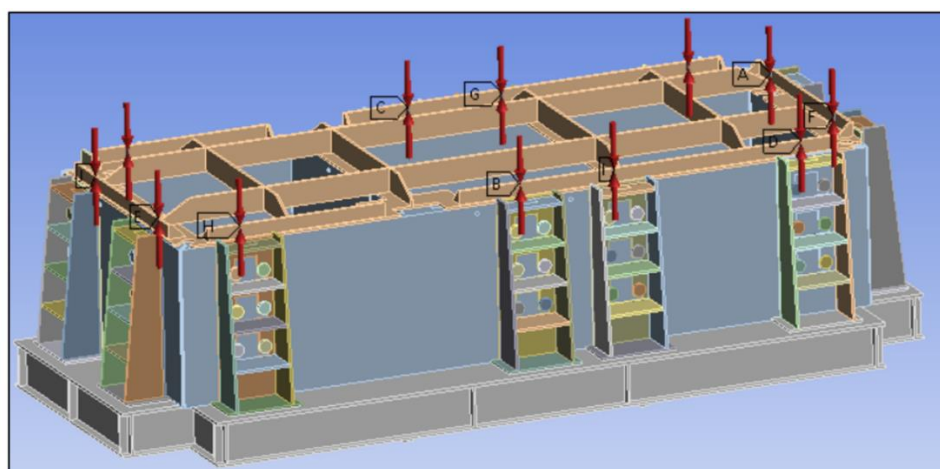


Obrázek 7.37: MKP model svařovacího přípravku

Z hlediska silového působení byla podstatná především vlastní tíha přípravku s dílcem a upínací síly vyvozené svislými upínkami shora na přítlačnou desku (funkce horizontálních upínek spočívá především v polohovém vymezení potřebné pozice dílce, nikoliv v silovém působení). Způsob zavedení přítlačné a příslušné reakční síly od horní svislé upínky je uveden na obrázcích 7.38 a 7.39.



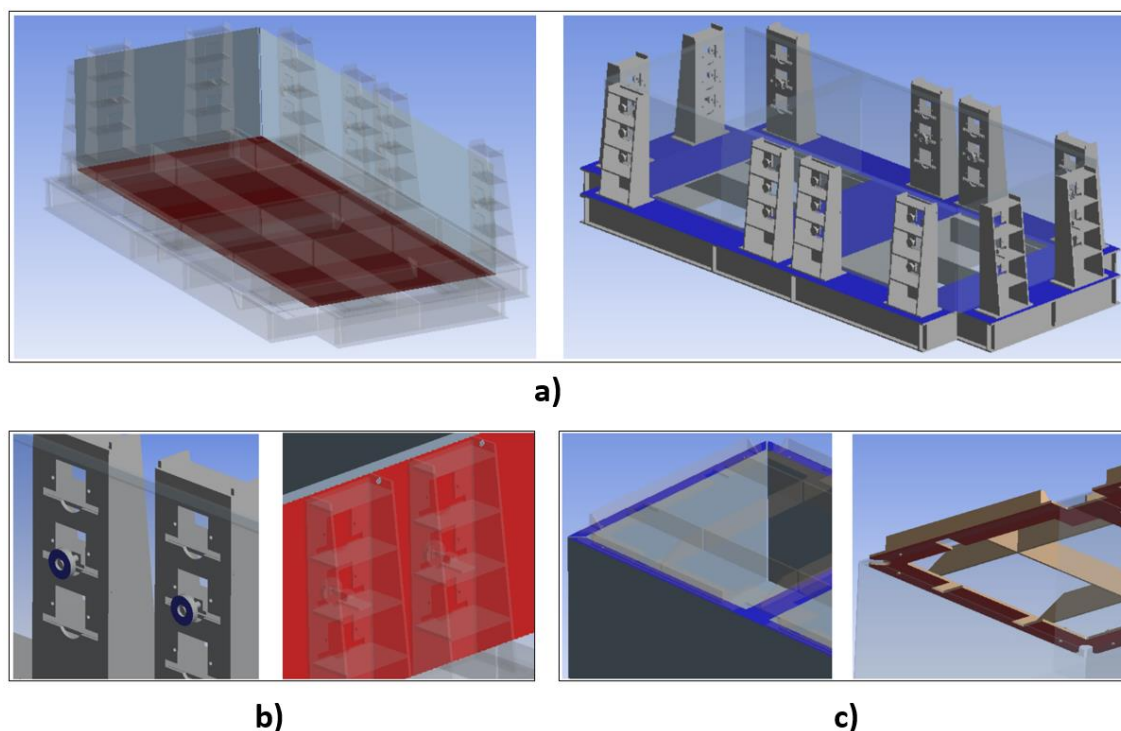
Obrázek 7.38: Zavedení upínací síly do MKP modelu



Obrázek 7.39: Zavedení upínacích sil do MKP modelu (celkový pohled)

Využito bylo prvku předepnutého nosníku propojeného s působištem na přítlačné desce (upínací síla) a plochou dorazového sloupku, na které je připojena upínka (reakční síla). Počítáno bylo s maximálním využitím upínací síly – tedy $F_{\max} = 1000 \text{ N}$.

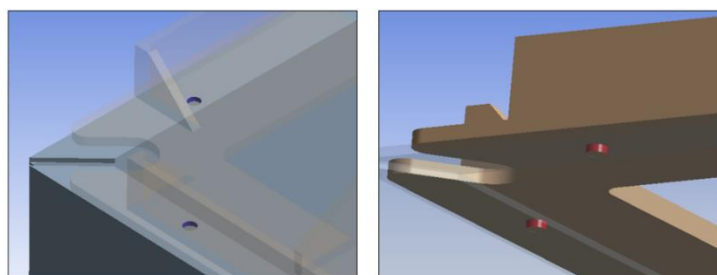
Mezi oddělenými částmi modelu byly zavedeny třecí vazby – konkrétně na rozhraní a) základová deska – dílec, b) vodorovné dorazy – dílec a c) přítlačná deska – dílec; viz obrázek 7.40.



Obrázek 7.40: Zavedení třecích vazeb do modelu

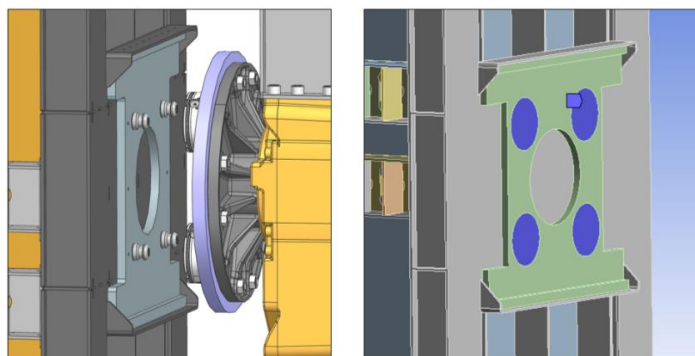
Uvažován byl součinitel smykového tření mezi povrchy ocel-ocel: $f = 0,15$.

Dále bylo zohledněno pevné spojení přítlačné desky s dílcem pomocí šroubů a nýtovacích matic v lemu nádrže – viz obrázek 7.41.



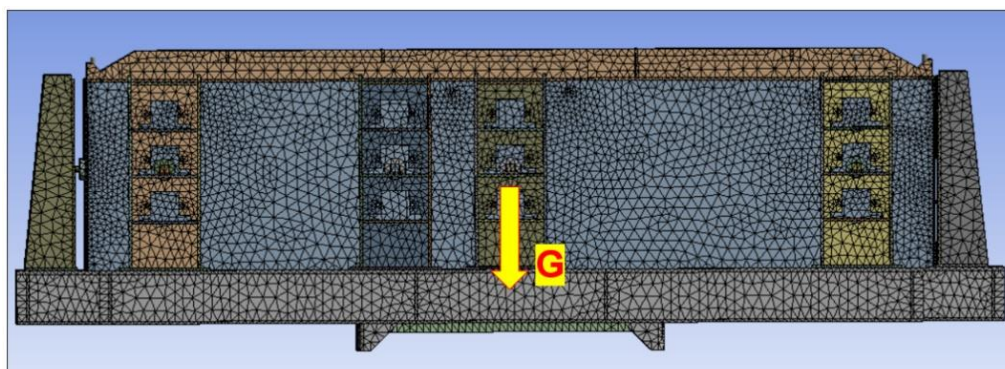
Obrázek 7.41: Spojení přítlačné desky s dílcem

Upevnění přípravku bylo provedeno vazbou fixed support umístěnou na upínací desce zespodu přípravku dle proporcí upínacího rozhraní navrženého v kapitole 7 – viz obrázek 7.42.

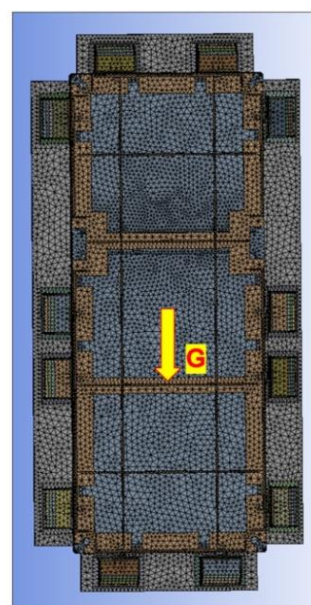
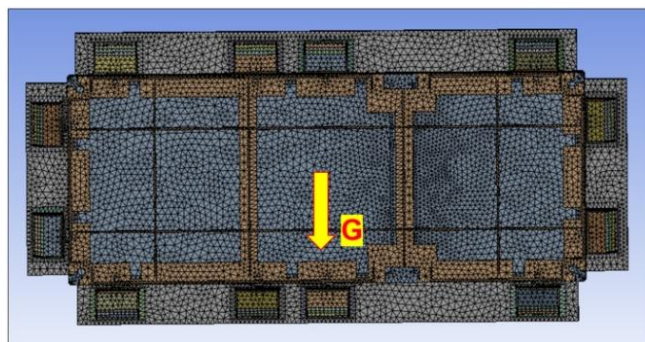


Obrázek 7.42: Vazba fixed support pro „upnutí“ přípravku

Cílem bylo určit největší posunutí vzniklé na dílci v místě svaru po aplikaci všech vazeb a zátěžných sil. Pro tento účel bylo na pozicích svarů zavedeno několik kontrolních bodů, ve kterých byly nepřesnosti zjišťovány. Testovány byly opět tři varianty natočení přípravku na polohovadle – základní poloha, natočení o 90° v jedné ose a natočení o 90° ve dvou osách – viz obrázky 7.43 a 7.44.

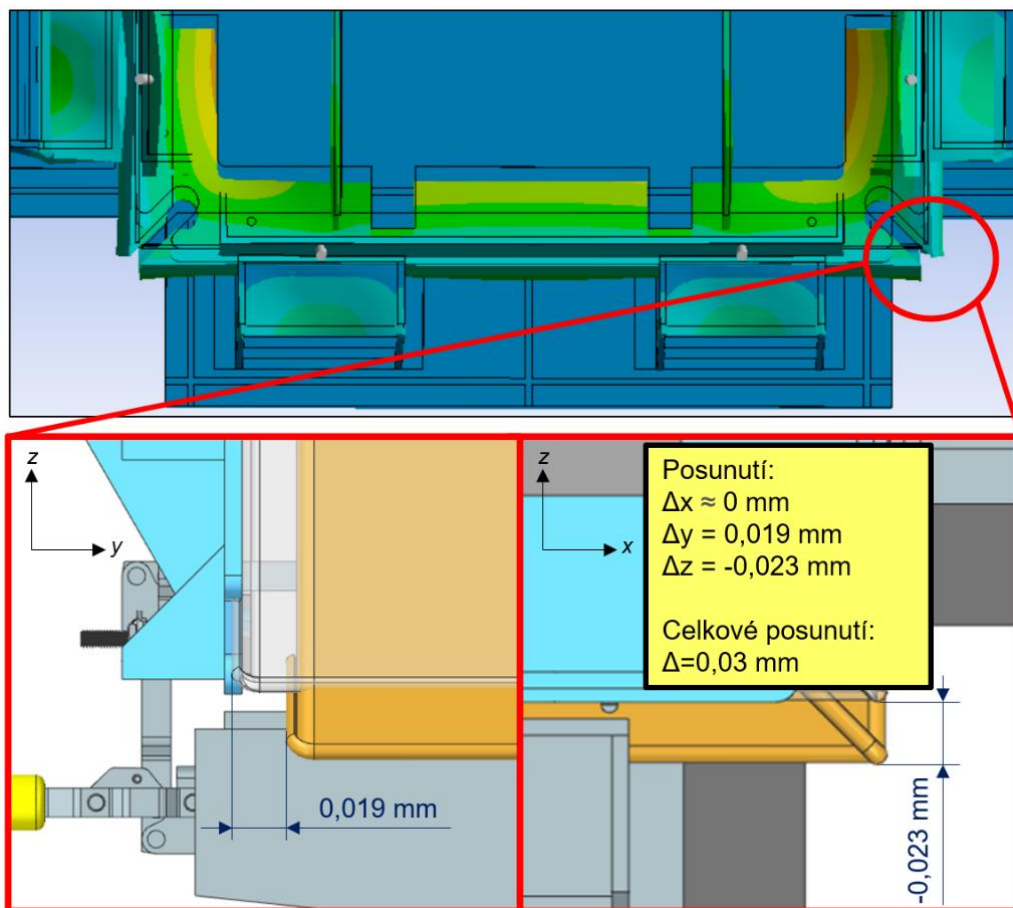


Obrázek 7.43: Základní poloha přípravku



Obrázek 7.44: Poloha přípravku při natočení o 90° v jedné/ dvou osách

Maximální odchylka byla znovu zjištěna v případě, kdy je přípravek natočen v obou osách o 90°, a to konkrétně v rozích svařovaného dílce v blízkosti horního lemu – tedy přibližně ve stejném místě, kde vzniká také největší posunutí vlivem deformací polohovadla (podkapitola 7.3.1). Výsledky MKP výpočtu jsou uvedeny na obrázku 7.45.



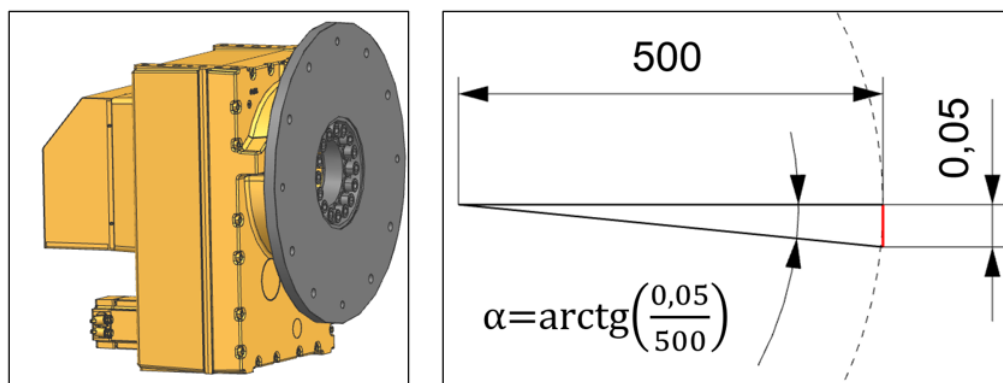
Obrázek 7.45: Maximální odchylka v místech svaru vlivem nepřesnosti přípravku

Hodnota maximální nepřesnosti samotného přípravku ($\Delta = 0,03$ mm) je o řád nižší než dříve zjištěná nepřesnost vlivem zatížení polohovadla. Navržený přípravek je tedy bez ohledu na své natočení dostatečně tuhý a přesný pro zajištění daného modelového dílce v žádané poloze. Upínací síly působící přes horní desku na dílec jsou zjevně dost velké na to, aby udržely dílec ve stejné pozici bez ohledu na natočení přípravku. Všechny dorazové sloupky jsou pak i v případech natočení přípravku o 90° zatíženy pouze vlastní tíhou a nikoliv i tíhou dílce.

7.3.3 Chyby pohonů

Jako zdroje nepřesností byly zahrnuty také dílčí rotační jednotky MTD, jelikož odchylky polohování pro ně udávané, se rovněž promítnou do celkové přesnosti soustavy polohovadlo – přípravek.

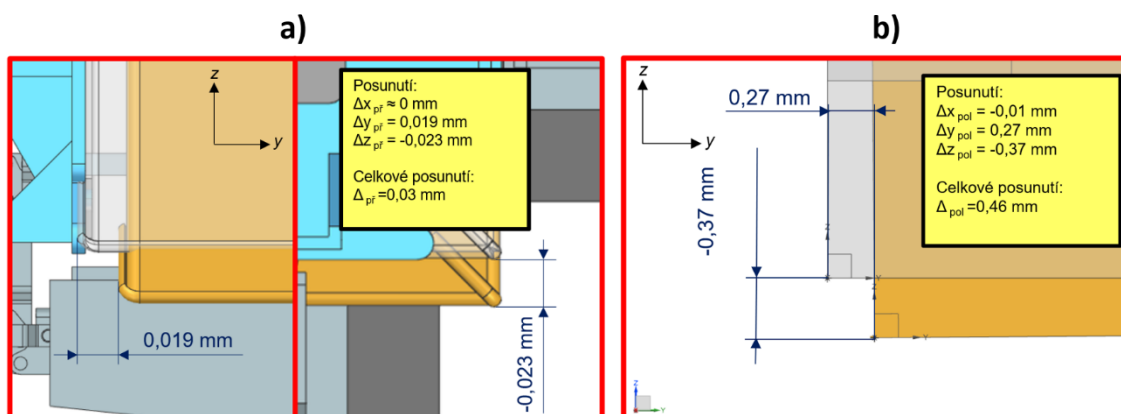
Pro oba použité typy dílčích polohovadel (MTD 2000 a MTD 5000) uvádí výrobce (ABB) stejnou hodnotu odchylky na poloměru 500 mm: $\pm 0,05$ mm – viz obrázek 7.46.



Technical data	MTD 2000	MTD 5000
Repetition accuracy with equal loads and radius 500 mm	± 0.05 mm	± 0.05 mm

Obrázek 7.46: Udávaná přesnost polohovacích jednotek MTD 2000 a MTD 5000 [90]

Tyto nepřesnosti bylo třeba připočítat k dosud zjištěným maximálním polohovým odchylkám dílce ve svařovacím přípravku (kapitola 7.3.2) a přípravku umístěného na polohovadle (kapitola 7.3.1), které shrnuje obrázek 7.47.



Obrázek 7.47: Maximální posunutí (v místě svaru): a) dílce v přípravku, b) přípravku na polohovadle

K určení největšího celkového posunutí místa svaru vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla byly sečteny jednotlivé složky posunutí od polohovadla ($\Delta_{x\ pol}$, $\Delta_{y\ pol}$, $\Delta_{z\ pol}$) a od přípravku ($\Delta_{x\ př}$, $\Delta_{y\ př}$, $\Delta_{z\ př}$).

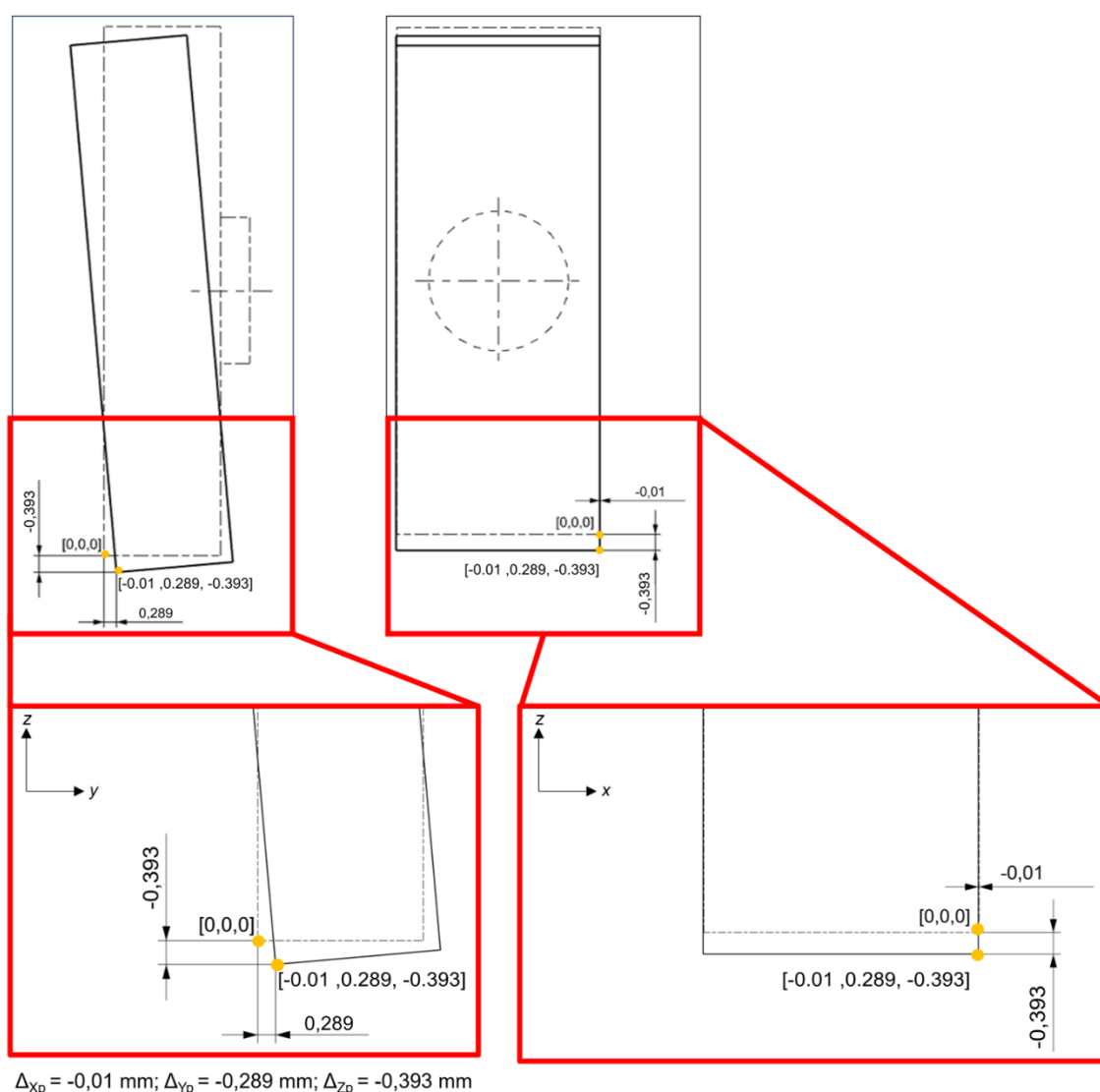
$$\Delta_{xp} = \Delta_{x\ pol} + \Delta_{x\ př} = -0,01 + 0 = -0,01\ mm \quad (7.1)$$

$$\Delta_{yp} = \Delta_{y\ pol} + \Delta_{y\ př} = 0,27 + 0,019 = 0,289\ mm \quad (7.2)$$

$$\Delta_{zp} = \Delta_{z\ pol} + \Delta_{z\ př} = -0,37 - 0,023 = -0,393\ mm \quad (7.3)$$

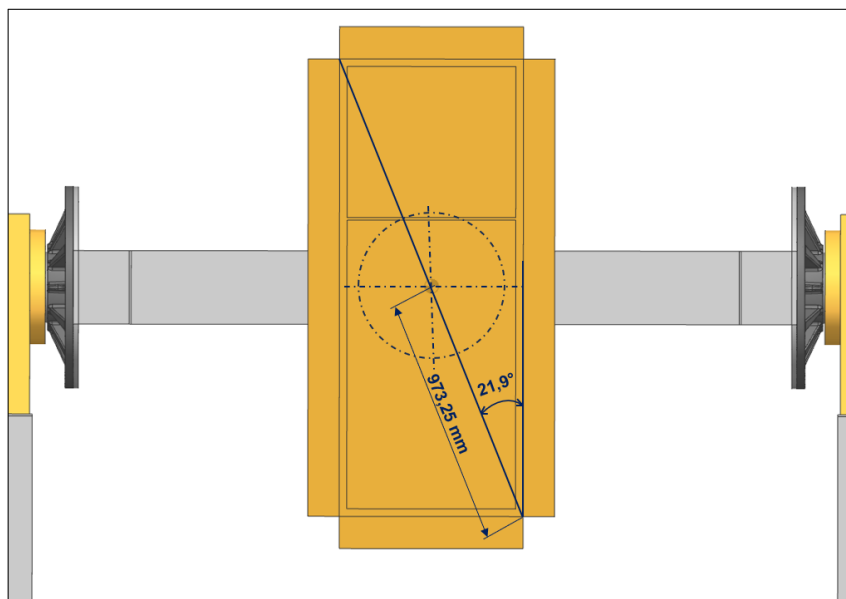
$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_{xp}^2 + \Delta_{yp}^2 + \Delta_{zp}^2} = \sqrt{(-0,01)^2 + (0,289)^2 + (-0,393)^2} = 0,49\ mm \quad (7.4)$$

Celkové posunutí je schematicky znázorněno na obrázku 7.48.

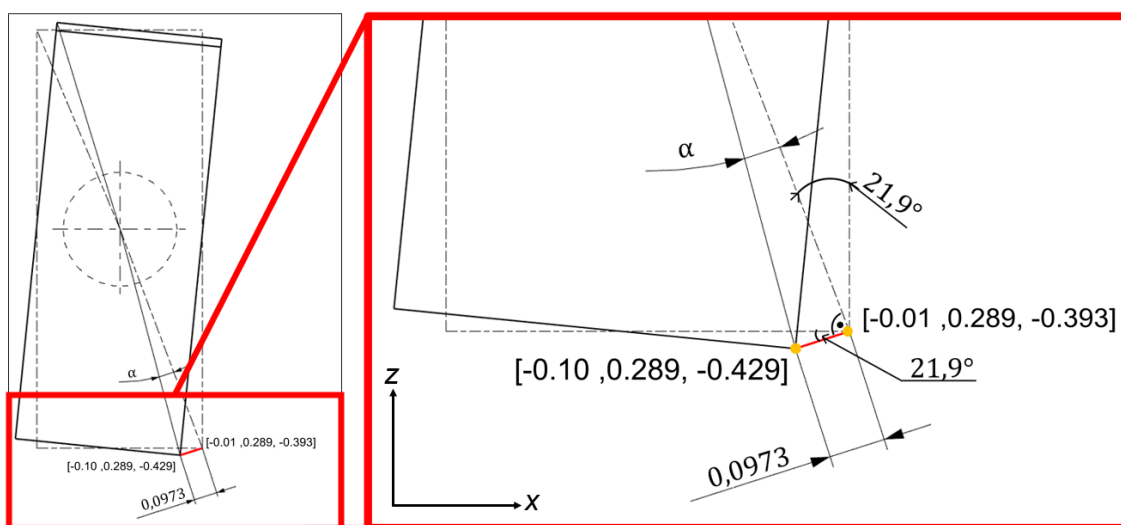


Obrázek 7.48: Schéma maximálního celkového posunutí vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla

Poloha místa svaru posunutého od původní pozice o 0,42 mm byla dále ovlivněna nepřesností dílčích polohovadel. Posunutí vlivem odchylky jednotky MTD 2000, k níž je upnutý svařovací přípravek, znázorňují obrázky 7.49 a 7.50.



Obrázek 7.49: Přípravek upnutý k jednotce MTD 2000 (vyznačen max. protáčený poloměr svařovaného dílce)



Obrázek 7.50: Schéma posunutí vlivem nepřesnosti jednotky MTD 2000

Nejprve bylo třeba z uvedené nepřesnosti MTD 2000 (0,05 mm na $r = 500$ mm) určit, úhlovou odchylku jednotky a z té následně odchylku na poloměru 973,25 mm, což je vzdálenost svaru modelového dílce od osy dané rotační jednotky.

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{0,05}{500} \rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,05}{500}\right) = 0,00573^\circ \quad (7.5)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{\Delta_{MTD\ 2000}}{973,25} \rightarrow \Delta_{MTD\ 2000} = 973,25 \cdot \operatorname{tg}(\alpha) = 0,0973\ \text{mm} \quad (7.6)$$

Z vypočtené hodnoty $\Delta_{MTD\ 2000} = 0,0973\text{ mm}$ byly poté dle schématu na obrázku 7.50 odečteny složky posunutí ve směrech x, z – což je rovina, ve které v dané poloze přípravku polohovadlo MTD 2000 pracuje.

$$\cos(21,9^\circ) = \frac{\Delta_{X\ MTD\ 2000}}{0,0973} \rightarrow \Delta_{X\ MTD\ 2000} = 0,0973 \cdot \cos(21,9^\circ) = 0,090\text{ mm} \quad (7.7)$$

$$\sin(21,9^\circ) = \frac{\Delta_{Z\ MTD\ 2000}}{0,0973} \rightarrow \Delta_{Z\ MTD\ 2000} = 0,0973 \cdot \sin(21,9^\circ) = 0,036\text{ mm} \quad (7.8)$$

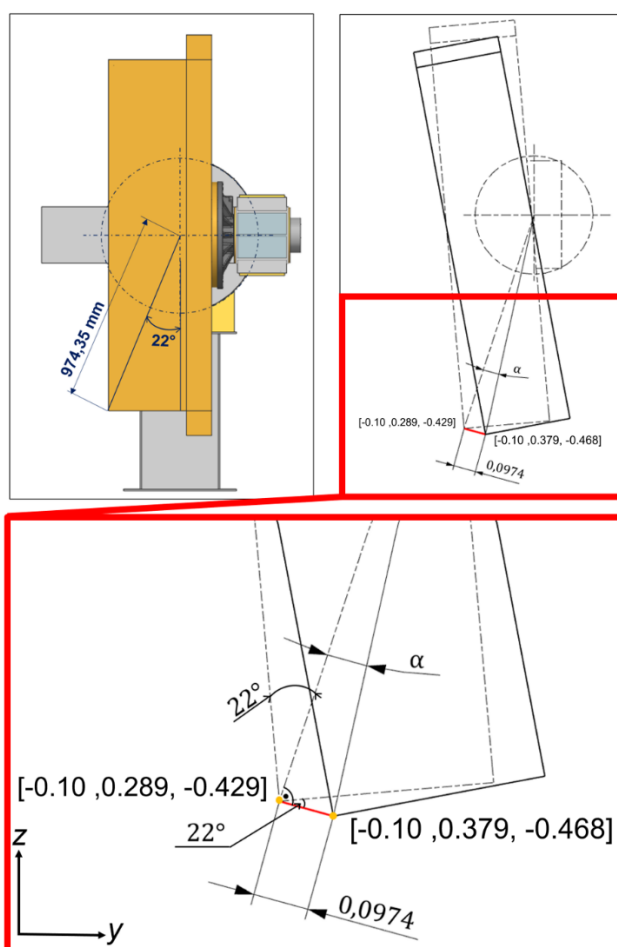
Získané hodnoty posunutí byly připočteny k dosavadním složkám posunutí od přípravku a polohovadla.

$$\Delta_{X2} = \Delta_{Xp} + \Delta_{X\ MTD\ 2000} = -0,01 - 0,09 = -0,10\text{ mm} \quad (7.9)$$

$$\Delta_{Y2} = \Delta_{Yp} = -0,289\text{ mm} \quad (7.10)$$

$$\Delta_{Z2} = \Delta_{Zp} + \Delta_{Z\ MTD\ 2000} = -0,393 - 0,036 = -0,429\text{ mm} \quad (7.11)$$

Stejný postup byl zopakován i pro určení nepřesnosti vlivem jednotky MTD 5000. Schematicky je výpočet znázorněn na obrázku 7.51.



Obrázek 7.51: Schéma posunutí vlivem nepřesnosti jednotky MTD 5000

Odchylka na poloměru 974,35 mm (vzdálenost svaru dílce od osy MTD 5000):

$$tg(\alpha) = \frac{\Delta_{MTD\ 5000}}{974,35} \rightarrow \Delta_{MTD\ 5000} = 974,35 \cdot tg(\alpha) = 0,0974\ mm \quad (7.12)$$

Složky posunutí ve směrech y, z:

$$\cos(22^\circ) = \frac{\Delta_{Y\ MTD\ 5000}}{0,0974} \rightarrow \Delta_{Y\ MTD\ 5000} = 0,0974 \cdot \cos(22^\circ) = 0,090\ mm \quad (7.13)$$

$$\sin(22^\circ) = \frac{\Delta_{Z\ MTD\ 5000}}{0,0974} \rightarrow \Delta_{Z\ MTD\ 5000} = 0,0974 \cdot \sin(22^\circ) = 0,036\ mm \quad (7.14)$$

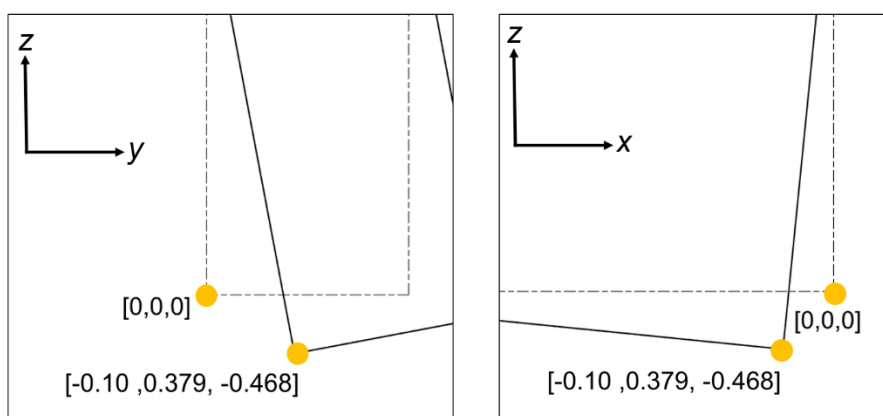
Připočtení získaných posunutí k dosavadním složkám posunutí:

$$\Delta_{X3} = \Delta_{X2} = -0,10\ mm \quad (7.15)$$

$$\Delta_{Y3} = \Delta_{Y2} + \Delta_{Y\ MTD\ 5000} = 0,289 + 0,09 = 0,379\ mm \quad (7.16)$$

$$\Delta_{Z3} = \Delta_{Z2} + \Delta_{Z\ MTD\ 5000} = -0,429 - 0,036 = -0,468\ mm \quad (7.17)$$

Směrová posunutí Δ_{X3} , Δ_{Y3} , Δ_{Z3} představují složky maximálního posunutí místa svaru modelového dílce, do něhož jsou zahrnuty nepřesnosti vlivem poddajnosti polohovadla a přípravku a výrobcem uvedené nepřesnosti dílčích rotačních jednotek MTD 2000 a MTD 5000. Posunutí je schematicky znázorněno na obrázku 7.52.



Obrázek 7.52: Schéma maximálního posunutí v místě svaru vlivem přípravku a polohovadla

Hodnota celkové nepřesnosti přípravku a polohovadla vychází:

$$\Delta_3 = \sqrt{\Delta_{X3}^2 + \Delta_{Y3}^2 + \Delta_{Z3}^2} = \sqrt{(-0,10)^2 + 0,38^2 + (-0,47)^2} = 0,61\ mm \quad (7.18)$$

Dominantní složkou dané chyby je odchylka způsobená vlivem zatížení mechanických částí polohovadla ($\Delta_{pol} = 0,46\ mm$), která z celkové hodnoty Δ_3 tvoří u modelového přípravku 75 %. Složka chyby daná zatížením přípravku se bude pro různé dílce lišit dle na míru použitého přípravku. Avšak vzhledem k tomu, že u vzorového přípravku vychází

její hodnota o řád nižší než chyba vlivem polohovadla ($\Delta_{pr} = 0,03$ mm), lze očekávat, že při podobné konstrukci přípravků nebude nabývat výrazných hodnot ani pro jiné dílce.

Největší možná odchylka od zatížení polohovadla (pro maximální hmotnost přípravku s dílcem) vyšla $\Delta = 0,67$ mm, chyba přípravku se předpokládá o řád nižší a chyby pohonů jsou konstantní, rovněž o řád nižší. Na základě těchto skutečností lze provést odhad, že hodnota celkové chyby, se započtením zmíněných tří vlivů, se i pro libovolný dílec a přípravek o hmotnosti 1000 kg (s těžištěm uvažovaným v osách polohovadla) a úhlopříčkou 2200 mm bude pohybovat cca do 1 mm.

7.3.4 Chyby robotu

Výběr vhodného svařovacího robotu byl podmíněn především jeho dosahem. Kritériem bylo, aby byl robot schopen plně obsáhnout prostor vymezený rozměry modelového přípravku – tedy přípravku o zadané maximální úhlopříčné délce 2200 mm. Splnění této podmínky zaručuje, že na navrženém pracovišti je možné svařit libovolný plechový dílec nepřesahující tyto rozměry.

Dalším kritériem bylo, aby přesnost polohování robotu zhruba odpovídala dosahovaným hodnotám přesnosti dílců založených do přípravku a polohovadla s uvážením dosud řešených chyb – tedy zhruba odchylce do 1 mm.

Z portfolia robotů ABB se jako optimální z hlediska dosahu ukázal robot IRB 4600-20/2.50, jehož základní parametry jsou uvedeny v tabulce 7.2.

Tabulka 7.2: Parametry robotu IRB 4600-20/2.50 [86]

Robot type	Handling capacity (kg)	Reach (m)	
IRB 4600	20	2.50	
Robot	Positioning accuracy (mm)		
	Average	Max	% Within 1 mm
IRB 4600-20/2.50	0.40	0.80	100

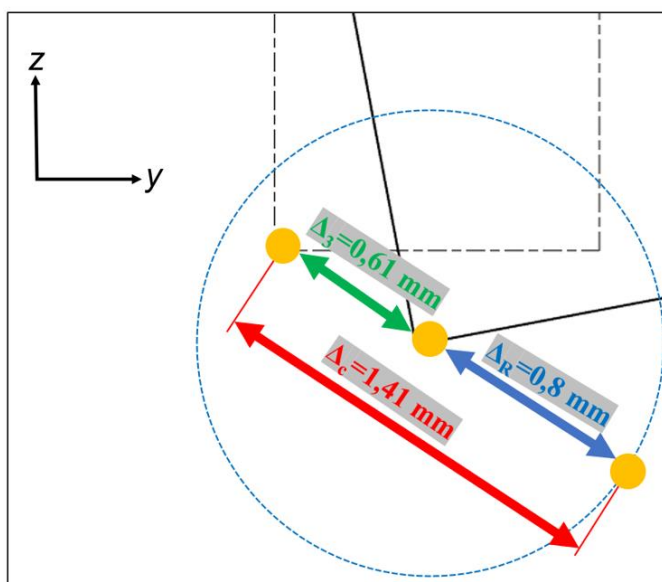
Výrobce udává maximální nepřesnost daného modelu odpovídá požadovaným hodnotám. Kinematické možnosti robotu a dosažitelnost krajních poloh budou ještě ověřeny v poslední kapitole týkající se simulace svařování.

7.3.5 Celkové předpokládané maximální chyby

S připočtením maximální nepřesnosti vybraného svařovacího robotu k dosud uvažovaným chybám polohovadla a přípravku, narůstá maximální celková odchylka místa svaru modelového dílce na hodnotu:

$$\Delta_C = \Delta_3 + \Delta_R = 0,61 + 0,8 = 1,41 \text{ mm} \quad (7.19)$$

Schematické znázornění je na obrázku 7.53.



Obrázek 7.53: Schéma celkového maximálního posunutí místa svaru

Jako další zdroje nepřesností je třeba uvažovat výrobní nepřesnosti jednotlivých dílců či jejich polotovarů a chybu zakládání plechů do přípravku. Tento vliv je obtížné přesně postihnout, nicméně je vhodné počítat s nepřesností zakládání až do 1 mm.

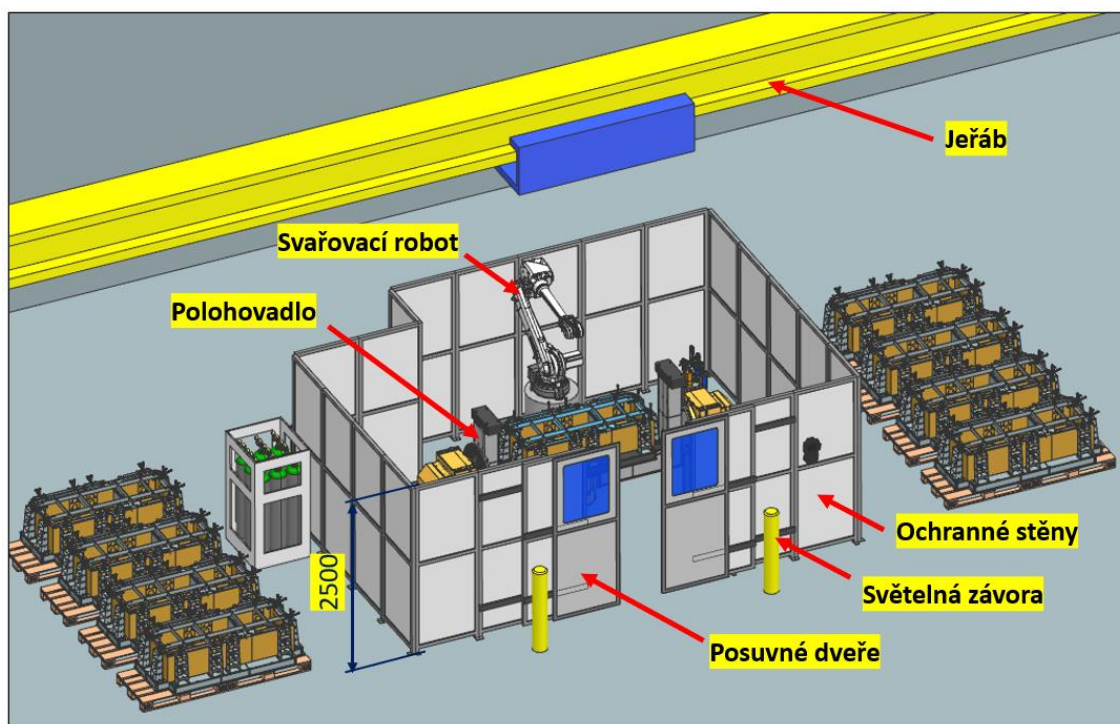
Je zřejmé, že při takovýchto odchylkách již není možné svařování plechů o tloušťce 3 mm provést podle pevně daného programu bez korekcí. Před každým dílčím svařováním bude tedy nutné vždy nejprve provést identifikaci příslušného svaru pro možnost potřebných korekcí dráhy – postup je zobrazen v další kapitole

8 Simulace svařování na navrženém pracovišti

Poslední částí této práce bylo ověření funkčnosti navrženého svařovacího pracoviště a postupu svařování modelového dílce pomocí vizuální simulace. Vytvořen byl rovněž celkový model pracoviště (včetně ochranných a periferních zařízení), zobrazující jeho celkové rozměry a proporce v rámci pracovní haly

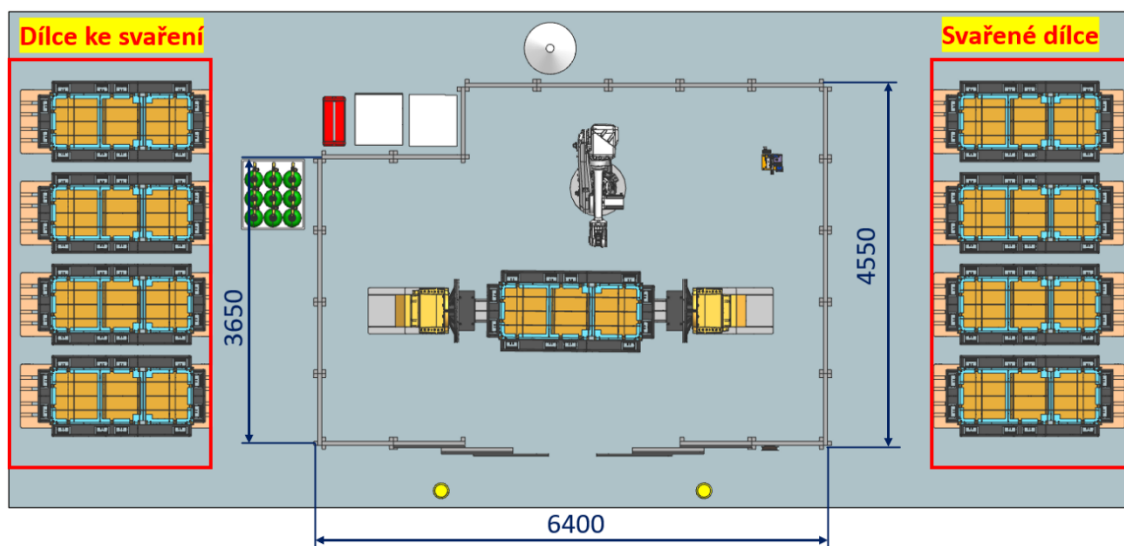
8.1 Výsledná podoba svařovacího pracoviště

Umístění robotického svařovacího pracoviště v pracovní hale ukazuje obrázek 8.1. Polohovadlo a svařovací robot se předpokládají obklopeny pevnými ochrannými stěnami s posuvnými bezpečnostními dveřmi umístěnými vpředu. Vstup do pracovního prostoru dále hlídá světelná závora.



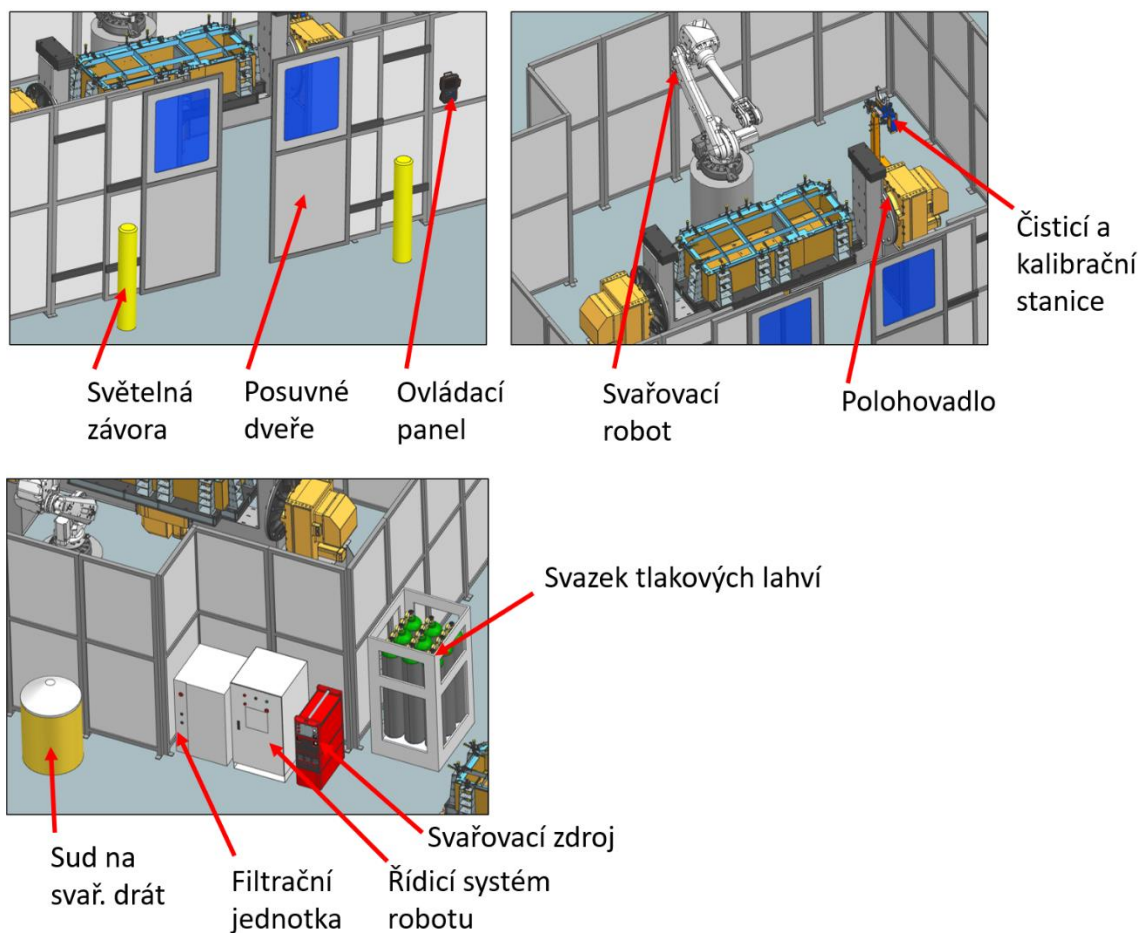
Obrázek 8.1: Robotické svařovací pracoviště v pracovní hale

Zakládání dílců do svařovacích přípravků se odehrává mimo pracoviště. Přípravky s upnutými dílci jsou poté sváženy do vymezeného prostoru vlevo od pracoviště, odkud jsou pomocí jeřábu umísťovány na polohovadlo. Po svaření jsou z polohovadla odepnuty a jeřábem přemístěny do prostoru vpravo od pracoviště, kde mohou být dílce z přípravků opět vyjímány. Popsaný postup je patrný z půdorysu pracoviště na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2: Půdorys svařovacího pracoviště

Detailnější pohled na vybavení a jednotlivé komponenty pracoviště je na obrázku 8.3.

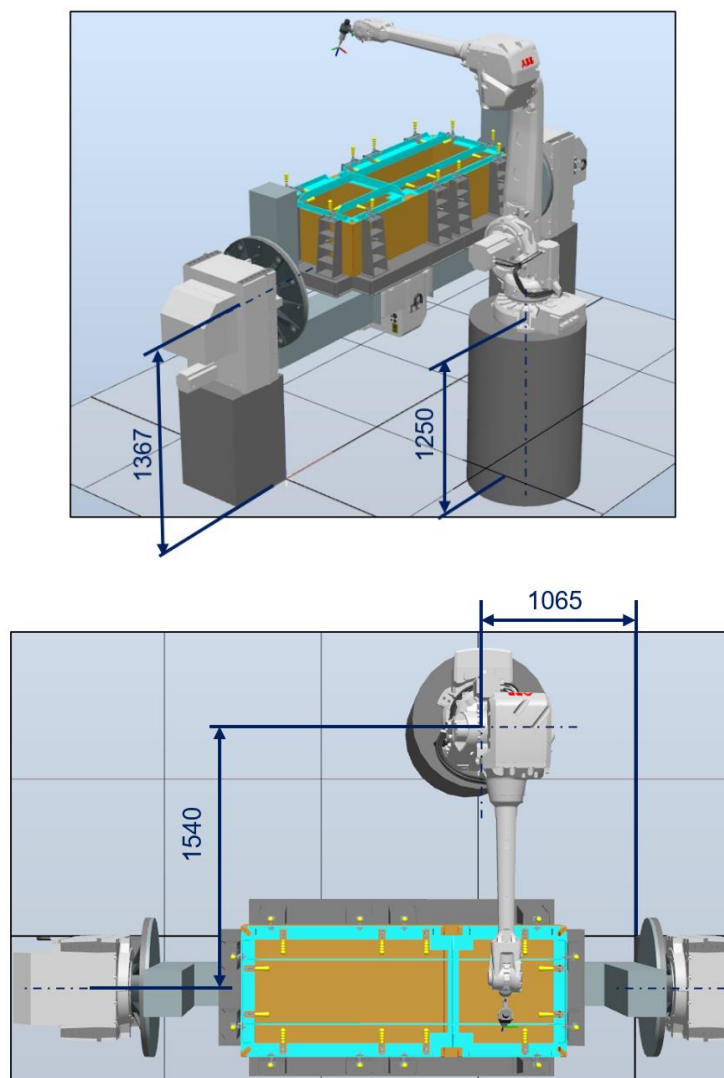


Obrázek 8.3: Detail částí pracoviště

8.2 Ověřením možnosti svařování v krajních polohách dílce

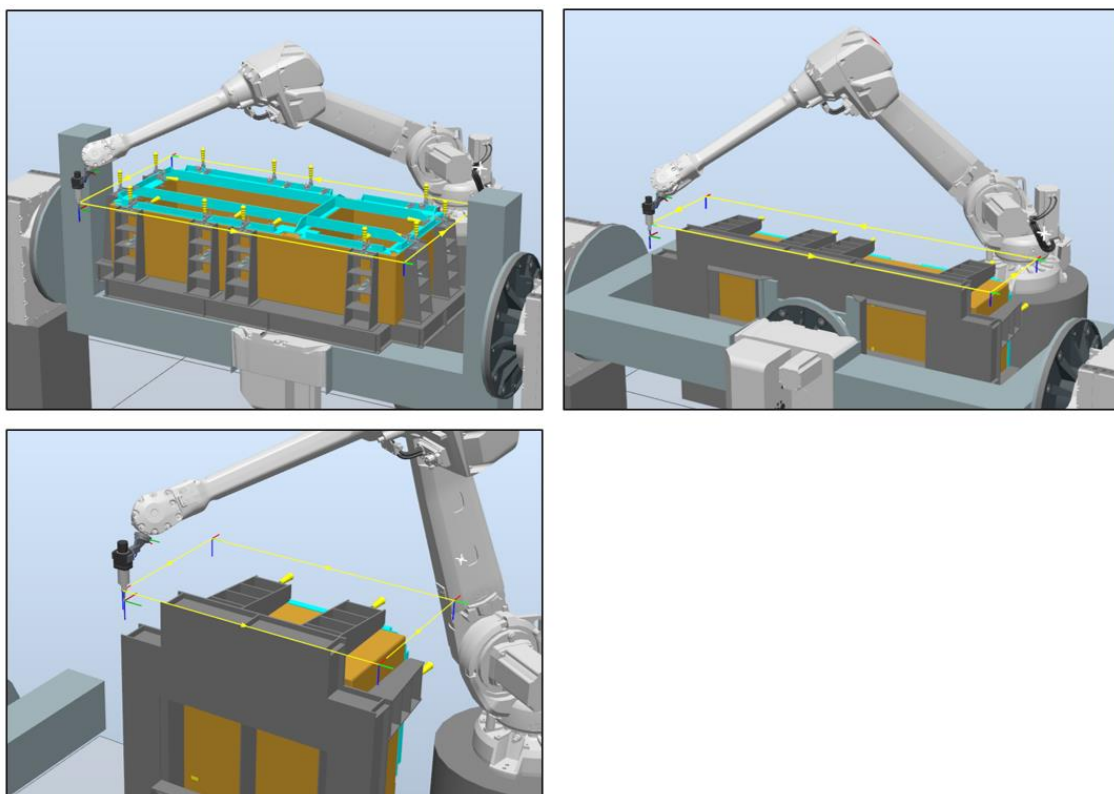
Pro účel simulace navrženého svařovacího procesu byl v programu RobotStudio 2022 vytvořen zjednodušený model přípravku a pracoviště se zachováním kinematických možností polohovadla. Jelikož software RobotStudio spadá přímo pod společnost ABB, byly dílčí polohovací jednotky MTD 2000, MTD 5000 a rovněž svařovací robot obsaženy již přímo v portfoliu tohoto programu a mohly tak být snadno integrovány do modelu pracoviště.

Podoba navrženého pracoviště v programu RobotStudio je s vyznačenými hlavními rozměry zobrazena na obrázku 8.4. Svařovací robot se předpokládá umístěn na podstavci podobné konstrukce jako mají podstavce polohovadla (podkapitola 7.2.7).



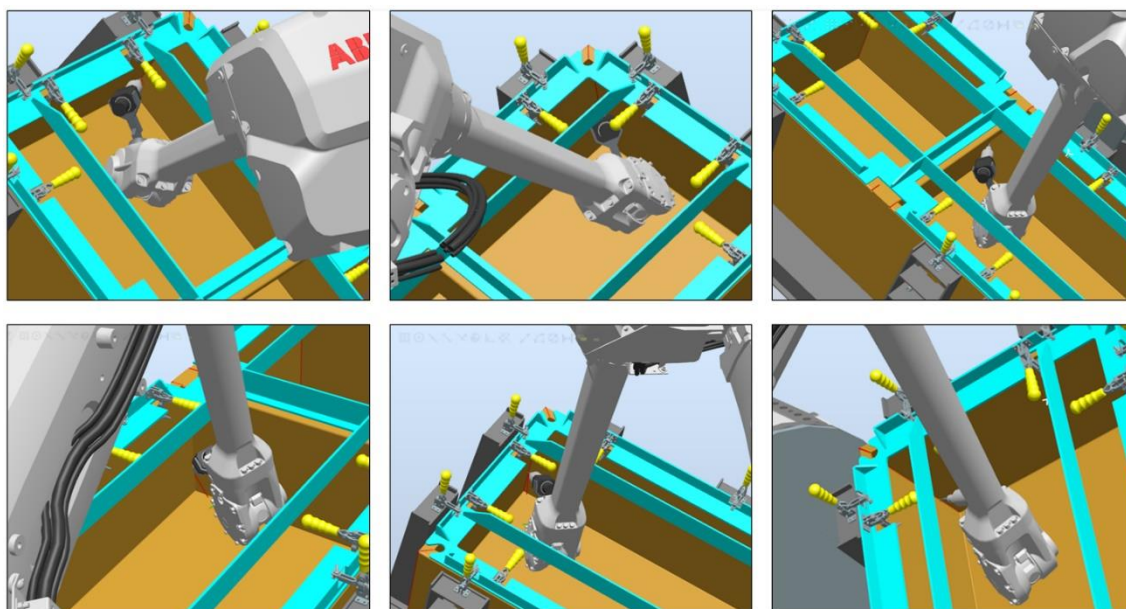
Obrázek 8.4: Základní rozměry svařovacího pracoviště

Ověření dosažitelnosti všech krajních poloh modelového přípravku hlavicí svařovacího robotu ukazuje obrázek 8.5.



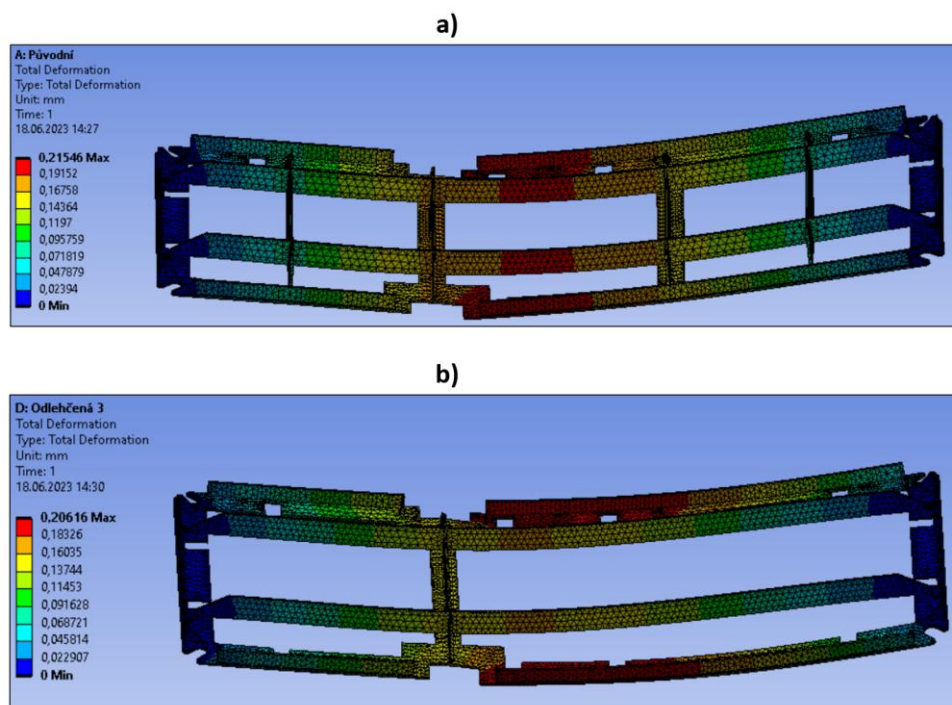
Obrázek 8.5: Ověření dosažitelnosti krajních poloh modelového přípravku

Ověřena byla rovněž dosažitelnost vnitřních hran dílce, čímž je zaručena možnost svařovat či alespoň nabodovat modelový dílec také z vnitřní strany, pokud by vyvstala tato potřeba – viz obrázek 8.6.



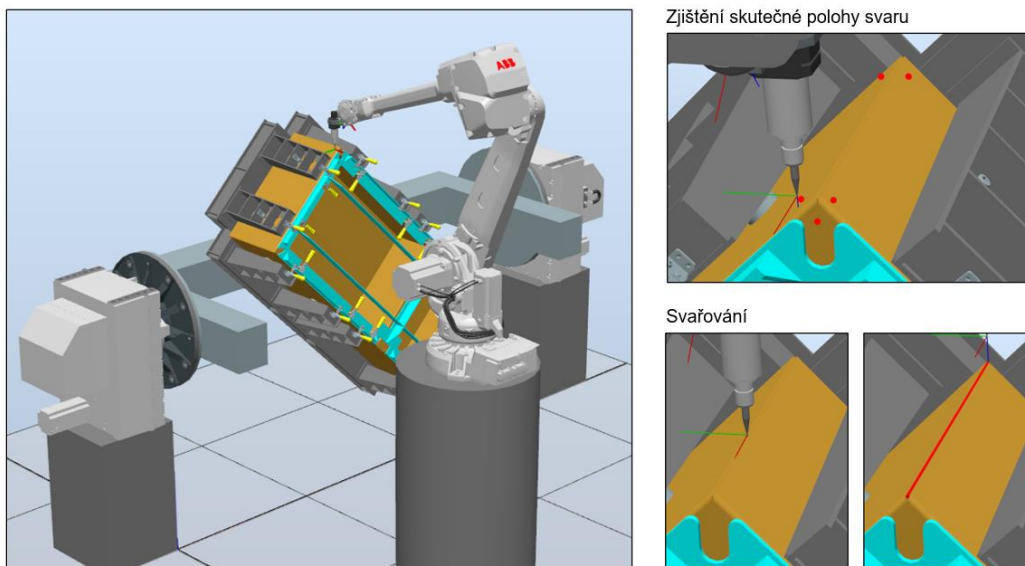
Obrázek 8.6: Ověření dosažitelnosti vnitřních hran dílce

Jelikož původní přitlačná deska značně znesnadňovala až znemožňovala přístup hořáku dovnitř dílce, byla z tohoto důvodu zredukována na variantu s jediným příčným žebrem. Tato úprava umožnila přístup robotu k vnitřním hranám dílce dostatečný pro nabodování. Průhyb přitlačné desky při zavěšení a manipulaci se redukcí příčných žebel výrazně nezměnil – viz obrázek 8.7.



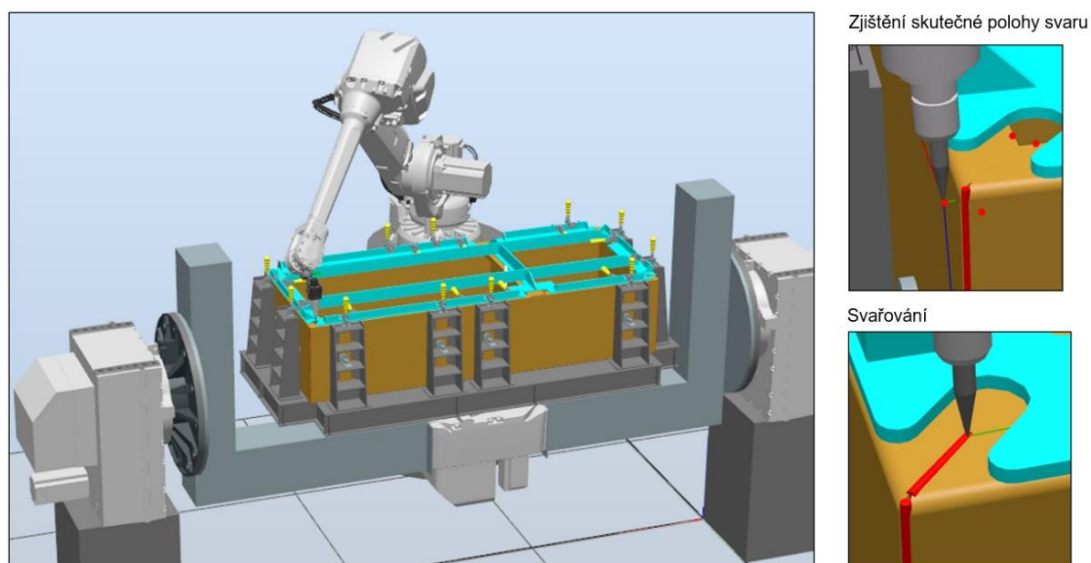
Obrázek 8.7: Přitlačná deska: a) původní, b) odlehčená

Samotná simulace svařování proběhla dle postupu popsaného v kapitole 6. Nejprve je tedy provedeno vnější svařování bočních hran dílce, a to v pozici vodorovné shora, což zajišťuje navržené polohovadlo. Před vlastním svařením je vždy nejdříve kontaktem svařovacího drátu a dílce (celkem v pěti bodech) zjištěna skutečná poloha svaru pro případné korekce naprogramovaných drah hořáku. Takto je postupně provedeno svaření všech čtyř hran nádrže. Postup svařování je naznačen na obrázku 8.8, celá simulace je pak ve formě videa součástí příloh.



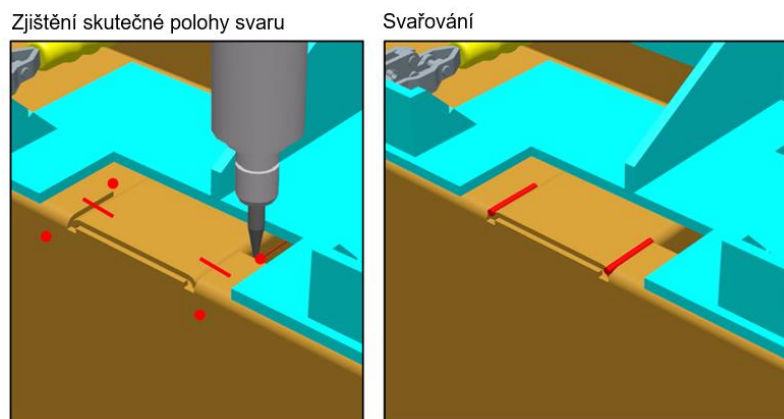
Obrázek 8.8: Svařování na vnějších hranách nádrže

V další fázi operace je přípravek pomocí polohovadla vrácen do základní polohy a shodným způsobem jsou svařeny stýkající se části lemu v horní části nádrže (opět pozice vodorovná shora s prvotním zjištěním skutečné polohy svaru) – viz obrázek 8.9.



Obrázek 8.9: Svařování lemů v horní části nádrže

V poslední fázi zůstává přípravek ve stejné poloze a je provedeno přivaření příčky v horní části nádrže – viz obrázek 8.10.



Obrázek 8.10: Přivaření příčky nádrže

Pro celou simulaci byly nastaveny předpokládané skutečné rychlosti svařování a pohybu robotu:

Rychloposuvy $v_r = 1000$ mm/s

Rychlost hořáku při zjišťování skutečné polohy svaru $v_p = 80$ mm/s

Rychlost hořáku při svařování $v_s = 10$ mm/s

S danými rychlostmi byl celkový čas simulace $t_{sim} = 324$ s. Pro zhodnocení časové náročnosti celého procesu je dále třeba uvažovat čas upnutí přípravku do polohovadla a jeho následné vyjmutí (dohromady cca 30 min). Celková doba procesu včetně vedlejších časů tedy vychází zhruba $t_c = 35$ min.

Provedením simulace svařování bylo spolehlivě ověřeno, že modelový dílec s přípravkem je možné na navrženém pracovišti svařit zvoleným postupem bez problémů s dosahem či kolizemi.

12 Závěr

Cílem této práce byl návrh robotického pracoviště (především polohovadla) pro svařování tenkostěnných dílců obráběcích strojů a dále podrobný návrh vzorového svařovacího přípravku pro vybraný modelový dílec (parametry: max. úhlopříčná délka dílce včetně přípravku: 2200 mm, max hmotnost včetně přípravku: 1000 kg).

Nejprve byla provedena rešerše dané problematiky, která se skládala z několika částí. Zpracována byla rešerše svařovacích přípravků, jejich rozdělení a dalšího příslušenství k nim (upínací a dorazové prvky). Dále byly popsány typy používaných robotických svařovacích pracovišť se zaměřením na kinematiku polohovadel. Rovněž byl uveden výčet ochranných zařízení používaných na těchto pracovištích (přestože jejich aplikace není přímou součástí praktické části – práce se zaměřuje na návrh a testování nově konstruovaných částí pracoviště, jež nejsou nijak standardizovány). V poslední kapitole rešerše pak bylo provedeno vytipování a popis běžných skupin tenkostěnných plechových dílců používaných na obráběcích strojích, včetně uvedení možných postupů a zásad při jejich svařování.

Na základě rešerše plechových částí OS byl následně pro účely práce vybrán modelový dílec typu čtvercová nádrž z ohýbaného plechu tloušťky 3 mm (rozměry 1806x726x400). Úkolem bylo navrhnout vzorový svařovací přípravek konstruovaný na míru danému dílci s možností mírných modifikací. Vzhledem k charakteru výroby plechových dílců OS v ČR (malosériová/kusová) byla požadavkem co největší výrobní jednoduchost a nízká cena přípravku. Z tohoto důvodu byl samotný vzorový přípravek (a poté i další navrhované části pracoviště) koncipován jako stavebnicová svařovaná konstrukce z plechů vypalovaných laserem.

Pro modelový dílec byl nejprve určen vhodný postup svařování, kdy se jako nejvýhodnější ukázalo svařovat všechny části dílce v poloze vodorovné shora (PA). Na základě známého tvaru dílce a míst svarů byl následně navržen příslušný přípravek zajišťující potřebnou stálou pozici nádrže během procesu svařování. Zvoleno bylo také vhodné upínací rozhraní pro připojení přípravku k polohovadlu.

Návrh samotného polohovadla vycházel z poznatků z rešeršní části a potřebné variability při pozicování dílců vůči robotu. Vhodnou koncepcí z kinematického hlediska představovalo dvouosé polohovadlo typu L. To bylo dále nutné modifikovat tak, aby vyhovělo požadavkům na přesnost, jež jsou při svařování plechů zvýšené. S ohledem na disponibilní přesnost svařovacího robotu v pracovním prostoru bylo potřeba, aby

polohovadlo po zatížení přípravkem o maximální hmotnosti 1000 kg (s uvažovaným těžištěm v průsečíku os polohovadla) a úhlopříčné délce 2200 mm, vykazovalo polohovou odchylku v místě svaru dílce maximálně do 1 mm.

Pomocí MKP bylo otestováno několik variant polohovadla s postupnými úpravami pro zvýšení tuhosti. Jako optimální varianta se ukázalo dvouosé polohovadlo s oboustranně podepřenou rotační částí. Tvořeno je dvojicí podélně i příčně vyztužených L ramen, připojených k dílci nakupované jednotce MTD 2000 (ABB). Tato konstrukce je, jako jeden celek tvaru C, na obou stranách rotačně uložena do dílčích jednotek MTD 5000 umístěných na podstavcích. Toto polohovadlo vykazuje po uvedeném testovacím zatížení maximální odchylku v místě svaru $\Delta=0,67$ mm, a to v pozici natočení o 90° v obou osách.

Dalším krokem bylo otestovat celkovou přesnost dosahovanou na samotném modelovém dílci ve vzorovém přípravku během svařovací operace. Hmotnost modelového přípravku s dílcem dosahovala 550 kg, úhlopříčná délka 2200 mm. Uvažována byla opět odchylka vlivem zatížení polohovadla vzorovým přípravkem, dále odchylka vzniklá zatížením samotného přípravku dílcem a vlastní tíhou a nakonec výrobcem dané nepřesnosti dílčích polohovacích jednotek a chyby robotu.

Po zohlednění zmíněných zdrojů nepřesností byla pomocí MKP a dalších výpočtů určena maximální dosahovaná odchylka místa svaru dílce $\Delta_{\max}=1,41$ mm. Převažující vliv má odchylka vlivem zatížení polohovadla ($\Delta_{\text{pol}}=0,46$ mm). Další chyby mohou vznikat rovněž nepřesným založením dílce do přípravku. Při tloušťce plechu modelového dílce 3 mm není při takto velkých chybách svařování možné a polohu každého svaru je proto nutné vždy nejprve identifikovat pro možnost korekcí pohybu robotu.

Poslední částí práce bylo ověření možností svařování na daném pracovišti pomocí simulace. V softwaru RobotStudio byla otestována dosažitelnost krajních poloh vymezených maximálními rozměry přípravku a rovněž byla provedena simulace svařování modelového dílce zvoleným postupem.

Z výsledků simulací i analýzy přesnosti vyplývá, že navržené robotické pracoviště je možné použít pro výrobu tenkostěnných dílců OS s parametry vymezenými zadáním. Vzorový svařovací přípravek splňuje požadavky kladené na upnutí modelového dílce a lze jej využít jako výchozí koncept pro konstrukci dalších podobných přípravků. Přípravek i navrhované části polohovadla byly, v souladu se zadáním, koncipovány jako stavebnicové svařované konstrukce z plechů a představují tak levné a jednoduché řešení, vhodné pro kusový charakter výroby plechových dílců OS v ČR.

Seznamy

Seznam použité literatury

- [1] KOŽENÝ, Pavel. *Návrh úpravy upínacího přípravku pro svařování trapézových plechů*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Karel Petr Ph.D.
- [2] VODĚRA, Jaroslav. *Svařovací přípravky pro všeobecné strojírenství*. Stát. nakl. techn. lit, 1963.
- [3] DESTACO Upínací technika. *Dsczech.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: [//dsczech.cz/](http://dsczech.cz/)
- [4] PULEC, Jan. *Návrh robotického pracoviště pro svařování dílu karosérie*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Martin Kolář.
- [5] HOFFMAN, Matěj. *Svařovací přípravek podélníku skladovací palety*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [6] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-857-7172-1.
- [7] *Katalog upínací techniky* [online]. JC-metal, 2017 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/assets/web/jcmetalekatalog.pdf>
- [8] NÁGL, Rudolf. *Návrh robotizovaného svařovacího pracoviště s otočným stolem typu H*. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [9] *PrestonEastin.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://prestoneastin.com/selecting-positioners-for-your-robotic-welding-system/>
- [10] The Right Positioner for your Application. *Robots.com* [online]. 2017 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/the-right-positioner-for-your-application>
- [11] Robotic Peripherals. *Yaskawa.eu.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/peripherals>
- [12] ŠPIČKA, Radovan. *Návrh a vývoj přípravku pro výrobní proces*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jiří Kyncl.
- [13] HLAVATÝ, Ivo. *Svařovací přípravky, polohovadla a manipulátory*. Presentace - přednáška. VŠB - Technická univerzita. [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2023-1-8]. Dostupné z: <http://staryweb.ivohlavaty.cz/2009Svarovani/4-4-SS4.pdf>

- [14] ANDRLÍK, Vladimír a kol. *Automatizace výrobních strojů a zařízení*. Praha, 2016. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Ústav výrobních strojů a zařízení
- [15] SALVA, Ondřej. *Návrh standardizovaného svařovacího robotického pracoviště s použitím tzv. „E“ rámu*. Praha, 2021. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [16] JAKOUBEK, Ondřej. *Řešení otočného stolu „D“ s nosností 2 x 1500*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [17] GLOSER, Luboš. *Bezpečnost práce na robotizovaném pracovišti s ohledem na Průmysl 4.0*. Ostrava, 2019. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita. Vedoucí práce Ing. et Ing. Vendula Laciok, Ph.D.
- [18] VYSOCKÝ, Aleš. *Roboty přímo spolupracující s člověkem*. Ostrava, 2019. Disertační práce. VŠB – Technická univerzita. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Petr Novák.
- [19] PAVELKA, Václav. *Bezpečnost robotického pracoviště*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Petr Navrátil, Ph.D.
- [20] ČERVENKA, Aleš. *Návrh robotického pracoviště na překládání „sběrných trubek*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [21] Zásady pro konstrukci nouzového zastavení. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2012 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/zasady-pro-konstrukci-nouzoveho-zastaveni>
- [22] PTÁČEK, Jan. *Návrh robotického pracoviště*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
- [23] KELAR, Jan. *Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště*. Ostrava, 2020. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Petr Novák.
- [24] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-2144-828-5.
- [25] NĚMEC, Jan. *Robotizované svařování prutových válců*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.
- [26] LUKŠÍČEK, David. *Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování s důrazem na svařovací agregáty*. Brno, 2019. Bakalářská práce. VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [27] ZLÁMAL, Josef. *Kryty pracovního prostoru stroje*. Brno, 2016. Diplomová práce. VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.
- [28] JAGOŠ, Roman. *Ochranné kryty používané ve stavbě obráběcích strojů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

- [29] KRESL, Tomáš. *Ochranné krytování používané při stavbě obráběcích strojů*. Liberec, 2013. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Zelený, Ph.D.
- [30] BARNAT, Vojtěch. *Aktivní ochranná kabina CNC obráběcího stroje*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Pelikán, Ph.D.
- [31] SVOBODA, Jan. *Ochranná zařízení používaná ve stavbě obráběcích strojů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.
- [32] KRÍŽ, Václav. *Technologie svařování tenkostěnné tlakové nádoby saturátoru laserem*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Petr Vondrouš, Ph.D.
- [33] Využití vláknových laserů v oblasti řezání a svařování plechů. *Prestige-technology.s.r.o.* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://prestige-technology.cz/blog/vyuziti-vlaknovych-laseru-v-oblasti-rezani-a-svarovani-plechu-b34.html>
- [34] GADUŠ, Stanislav. *Trendy v oblasti MAG svařování tenkých ocelových plechů*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.
- [35] HALLA, Petr. Svařování slabých plechů. *Konstrukce* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/>
- [36] SYROVÝ, Petr. *Porovnání ochranných plynů při TIG svařování*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.
- [37] ŠVORC, Jiří. *Vliv geometrie elektrody u TIG svařování*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.
- [38] *Indiamart.com* [online]. [cit.2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/welding-tabtable-5861268433.html>
- [39] *PSKU.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://psku.cz/reference.html>
- [40] *Heureka.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://sveraky-a-svorky.heureka.cz/posuvna-sverka-utility-step-over-ud45jm/#prehled/>
- [41] *Spomatz.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.spomatz.cz/UB-65-AM-Posuvna-sverka-LIGHT-165-mm-d3934.htm>
- [42] *Upinae.eu* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.upinace.eu/produkt/upinaci-kleste-ts-g-150-jw30-tunkers/>
- [43] *AEK-svareci-technika.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.aek-svareci-technika.cz/shop/sverka-multi-purp-pg634/>
- [44] *Svářečky-obchod.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/prislusenstvi/sverky-a-magnety/celistove-a-klestove-sverky/2907-sverka-shark-sc50a.htm>

- [45] *TYP servis.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.typservis.cz/kovova-uhlova-sverka-mws-2-56>
- [46] *Boukal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
https://www.boukal.cz/kovova-uhlova-sverka-schweisskraft-mws-2-56/4734/produkt?gclid=EAIAIQobChMI8ICosOS2_AIVWvZ3Ch1G7gvaEAQYASABEgJCNPd_BwE
- [47] *Svářečky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.svarecky-elektrody.cz/vnejsi-stredici-sverka-quick-fit-pdq-25-90-mm/d-11068>
- [48] *Toolzone.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.toolzone.cz/produkt/upinka-din6314v-vyztuha-18-13-48mm-format-23991.htm>
- [49] *Norelem.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/P%C5%99ehled-v%C3%BDrobk%C5%AF/Pru%C5%BEen%C3%BD-syst%C3%A9m-normalizovan%C3%BDch-d%C3%ADl%C5%AF/04000-Up%C3%ADnky-Up%C3%ADnac%C3%AD-prvky/Oto%C4%8Dn%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De-Up%C3%ADnac%C3%AD-h%C3%A1ky/04390-Oto%C4%8Dn%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De.html>
- [50] *JC-metal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/excentricke-upinky/2280651563-vodorovna-upinka-141.html>
- [51] *JC-metal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/362-pneumaticke-upinky-ry-up>
- [52] Lei Shi, 2019, ACK25-90-L Rotating Cylinder SHZ Pneumatic Corner Clamping Cylinder, YouTube video. [cit. 2023-1-8]. Dostupné z:
https://www.youtube.com/watch?v=iGh55ZbKnik&ab_channel=LeiShi
- [53] DESTACO Upínací technika. *Dsczech.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/destaco/pneumaticke-otocene-upinace>
- [54] DESTACO Upínací technika. *Dsczech.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/destaco/pneumaticke-pakove-upinace>
- [55] DESTACO Upínací technika. *Dsczech.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/destaco/pneumaticke-silove-valce-s-mechanickou-multiplikaciou-sily>
- [56] DESTACO Upínací technika. *Dsczech.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://dsczech.cz/sites/default/files/destaco-products/pdf/1359284220/wk-1000.pdf>
- [57] *JC-metal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z:
<https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/87-dorazy>

- [58] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [59] *Lincolnelectric.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en/Products/ad2457-3>
- [60] *AEKwelding.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://aekwelding.cz/odvalovaci-polohovadla/833-odvalovaci-polohovadlo-sr-1600.html>
- [61] *HSTCreative.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.hstcreative.cz/kladkove-polohovadlo-rwd-260-easy-49cz265/>
- [62] *Column & Boom* [online]. Aircraft Plasma Equipments [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <http://www.arcraftplasma.com/welding/product-brochuers/Column-&-Boom.pdf>
- [63] *Dumeta.nl* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.dumeta.nl/en/automation/column-boom-manipulators/column-boom-weld-manipulator-d-tl-hcj>
- [64] *Euchner.de* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyroby/zarizeni-nouzoveho-zastaveni/nouzove-zastavovaci-prvky-es/es-fb1w-xw1e-bv412mfr-yo/>
- [65] *Nvenia.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.nvenia.com/equipment/arpacbrandroboticpalletizer/>
- [66] *Sick.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/blokovaci-zarizeni-s-jistenim/i10-lock/c/g211151>
- [67] *Sick.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/elektromechanicka-blokovaci-zarizeni/i16s/c/g195492>
- [68] *Troax.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.troax.com/cz/cs/euchner-mgb-mgb-pn>
- [69] *Pilz.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/en-INT/products/applications/electrosensitive-protective-equipment>
- [70] *REM-technik.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/bezpecnostni-skenery/bezpecnostni-laserovy-skener-se11-868.html>
- [71] *Idec.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://us.idec.com/idec-us/en/USD/RD/safety/guide/safety07>
- [72] *Contra-Brno.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.contra-brno.cz/bezpecnostni-naslapne-rohoze>

- [73] *Fabricatingandmetalworking.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/05/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/>
- [74] *Thefabricator.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/product/safety/statiflex-complete-fume-control-system-from-lincoln-electric-helps-make-fabrication-cleaner#gallery>
- [75] *Horizontální obráběcí centra Polsko Německo* [online]. TOS VARNSDORF [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6979020-Www-tosvarnsdorf-cz-tos-varnsdorf-a-s-prima-ve-e-s-i-z-ji-n-optima-horizontalni-objevci-centra-polsko-nemecko-01-2014-slovensko-rakousko.html>
- [76] *Grabcad.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/sliding-doors-of-the-cnc-machine-tool-1>
- [77] *Santoromacchine.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.santoromacchine.com/prodotto/centro-di-lavoro-fanuc-robotdrill-alfa-t21i-el-usato/>
- [78] *Hennigworldwide.com* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://hennigworldwide.com/coolant-tanks>
- [79] *Bahr.kahstudio.cz* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://bahr.kahstudio.cz/met_polohy.php
- [80] Nový standard ve svařovací technice Proces CMT (Cold Metal Transfer). *Technický týdeník* [online]. 2006 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/novy-standard-ve-svarovaci-technice-proces-cmt-cold-metal-transfer_10667.html
- [81] *JC-metal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/prime-upinky/648-prima-upinka-307-z.html>
- [82] *JC-metal.cz* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/svisle-upinky/643-svisla-upinka-220-uz.html>
- [83] *Motor Units and Gear Units* [online]. ABB, 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/d091a804eb9e45d7820d948609b67671/3HAC040147%20PS%20MU%20GU-en.pdf?x-sign=0LEL+Yfn07JAwRQqawr4BEFziIoMCcm5bKN3gPlge/tGchB6ETyNtXmc50QUncbn>
- [84] *Schunk.com* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/paletove-systemy-pro-rychlou-vymenu/paletovy-system-pro-rychlou-vymenu-pro-obecne-frezovaci-aplikace-a-vysoce-vykonne-rezani/jednotlive-moduly-nse3/nse3-138-v1-p/p/000000000001359500>
- [85] *Technical datasheet: VERO-S NSE3 138 (Standard)*. SCHUNK, 2019.

[86] *Product specification IRB 4600* [online]. ABB, 2022 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/1c6b1c1a553f4b12aa064c54a906faff/3HAC032885%20PS%20IRB%204600%20on%20IRC5-en.pdf?x-sign=+8xcAi/YmloqFKODFuZe/W8r0bdSDUrBYJh9dqXP+YFvOXm5jEZWQbmZNH/XaD8t>

Seznam použitého softwaru

1. Siemens NX 1919
2. Ansys Workbench 2021R
3. RobotStudio 2022
4. Microsoft Word 2010

Seznam obrázků

Obrázek 3.1- Stavebnicový svařovací přípravek Siegmund [38]	19
Obrázek 3.2- Jednoučelový svařovací přípravek PSKU [39].....	21
Obrázek 3.3- Příklady posuvných svěrek [40,41]	22
Obrázek 3.4- Klešťové svěrky [42,43]	23
Obrázek 3.5- Čelist'ová svěrka SHARK SC50 [44]	23
Obrázek 3.6- Kovová úhlová svěrka MWS-2 56 [45,46].....	24
Obrázek 3.7- Středicí svěrka pro svařování dvou trubek (ø25-90 mm) [47]	24
Obrázek 3.8- Pracovní pozice upínky [7]	25
Obrázek 3.9- Šroubové upínky [48,49]	26
Obrázek 3.10- Vertikální ruční upínka [7]	26
Obrázek 3.11- Horizontální ruční upínka [7]	26
Obrázek 3.12- Háková upínka [7]	27
Obrázek 3.13- Přímočará upínka [7]	27
Obrázek 3.14- Princip excentrických upínek [50].....	28

Obrázek 3.15- Příklady standardních pneumatických upínek [51]	28
Obrázek 3.16- Princip otočných pneumatických upínek [52,53]	29
Obrázek 3.17- Pákové pneumatické upínky [54]	29
Obrázek 3.18- Princip silových pneumatických válců [55,56].....	30
Obrázek 3.19- Dorazové prostředky pro modulární systémy [57]	32
Obrázek 3.20- Čepový a šroubový doraz [5,58].....	32
Obrázek 4.1- Robotizovaná svařovací buňka [59]	33
Obrázek 4.2- Schéma koncepce robot + manipulátor [14].....	34
Obrázek 4.3- Robotické svařovací pracoviště s pevným stolem	34
Obrázek 4.4- Druhy svařovacích poloh [79]	35
Obrázek 4.5- Robotické svařovací pracoviště s otočným stolem.....	36
Obrázek 4.6- Jednoosé kolébkové polohovadlo	37
Obrázek 4.7- Čepové polohovadlo	38
Obrázek 4.8- Možné koncepce víceosých polohovadel	38
Obrázek 4.9- Schéma koncepce robot + dvojnásobný manipulátor [14].....	39
Obrázek 4.10- Robotické svařovací pracoviště s dvojnásobným pevným stolem..	40
Obrázek 4.11- Dvojnásobný stolový manipulátor s jednoosým polohováním.....	40
Obrázek 4.12- Dvojnásobný stolový manipulátor s dvouosým polohováním.....	40
Obrázek 4.13- Robotické svařovací pracoviště s dvojnásobným čepovým manipulátorem.....	41
Obrázek 4.14- Dvojnásobný čepový manipulátor s jednoosým polohováním.....	42
Obrázek 4.15- Dvojnásobný čepový manipulátor s dvouosým polohováním.....	42
Obrázek 4.16- Schéma koncepce polohovací manipulátor + posuvný robot [14]..	42
Obrázek 4.17- Robotické svařovací pracoviště s posuvným robotem.....	43
Obrázek 4.18- Schéma koncepce robot + posuvný manipulátor [14].....	43

Obrázek 4.19- Robotické svařovací pracoviště s lineárním manipulátorem	44
Obrázek 4.20- Schéma koncepce svařovací automat + polohovací robot [14]	44
Obrázek 4.21- Robotické svařovací pracoviště s polohovacím robotem a stabilním svařovacím automatem	45
Obrázek 4.22- Kladkové polohovadlo s posuvnými kladkami [60]	46
Obrázek 4.23- Kladkové polohovadlo s výklopnými kladkami [61]	46
Obrázek 4.24- Typy výložníkových sloupů [62]	46
Obrázek 4.25- Kombinace výložníkového sloupu a kladkového polohovadla [63]	47
Obrázek 4.26- Tlačítka nouzového zastavení [64]	49
Obrázek 4.27- Pevné zábrany robotického pracoviště [65]	50
Obrázek 4.28- Bezpečnostní dveřní systémy [66,67,68]	50
Obrázek 4.29- Bezpečnostní světelné závory [69]	51
Obrázek 4.30- Bezpečnostní laserový skener [70,71]	52
Obrázek 4.31- Bezpečnostní nášlapné rohože [72,73]	52
Obrázek 4.32- Odsávací zařízení robotizované svařovací buňky [74]	53
Obrázek 5.1- Vnější krytování obráběcích strojů [75]	54
Obrázek 5.2- Dveřní systémy obráběcích strojů [76]	55
Obrázek 5.3- Krytování dílčích částí stroje [77]	56
Obrázek 5.4- Nádrže obráběcích strojů [78]	57
Obrázek 5.5- Pomocné plechové prvky obráběcích strojů	57
Obrázek 5.6- Schéma lemového svaru [36]	59
Obrázek 5.7- Modelový plechový dílec - nádrž	62
Obrázek 5.8- Nádrž z ohýbaného plechu	62
Obrázek 5.9- Lem nádrže	63
Obrázek 5.10- Dělicí příčka v nádrži	63

Obrázek 5.11- Možné postupy svařování stěn (1.zvenku shora, 2.zevnitř shora/šikmo, 3.zvenku svise).....	64
Obrázek 5.12- Svaření lemu nádrže (v pozici vodorovné shora)	65
Obrázek 5.13- Přivaření příčky k lemu nádrže	65
Obrázek 5.14- Dodatečné svary v místech zámků.....	65
Obrázek 5.15- Koncepční podoba svařovacího pracoviště.....	69
Obrázek 6.1- Schéma zajištění polohy stěn nádrže z vnější strany	70
Obrázek 6.2- Protilehlé dvojice pevných a pohyblivých dorazů	71
Obrázek 6.3- Posuvný a pevný doraz	72
Obrázek 6.4- Zajištění dílce v přípravku pomocí pohyblivých dorazů	72
Obrázek 6.5- Konstrukce dorazového sloupku.....	73
Obrázek 6.6- Prostor pro svar	74
Obrázek 6.7- Díry pro připevnění dorazových sloupků	74
Obrázek 6.8- Základní dorazy a možné polohy dodatečných dorazů (průsvitně) ..	74
Obrázek 6.9- Základová deska přípravku	74
Obrázek 6.10- Přítlačná deska	75
Obrázek 6.11- Zajištění dílce v přípravku přitlačením shora	75
Obrázek 6.12- Zajištění dílce v přípravku z vnitřní strany	76
Obrázek 6.13- Vymezení polohy přítlačné desky na dílci.....	76
Obrázek 6.14- Vybrání v místech svarů	77
Obrázek 6.15- Závěsná oka	77
Obrázek 6.16- Svařovací přípravek s upnutým modelovým dílcem	77
Obrázek 6.17- Dovolena zatížení pro sadu čtyř upínačů NSE 138 [85].....	79
Obrázek 6.18- Poloha těžiště přípravku a způsoby zatěžování upínacího systému během polohování	79
Obrázek 6.19- Upínací rozhraní	81

Obrázek 6.20- Závěsná oka k manipulaci s přípravkem.....	81
Obrázek 7.1- Schematické zobrazení polohovadla.....	82
Obrázek 7.2- Dílčí části polohovadla	83
Obrázek 7.3- Výchozí varianta polohovadla	85
Obrázek 7.4- Spojení podstavce a otočného ramene s jednotkami MTD – vazba bonded	86
Obrázek 7.5- Spojení L ramene s polohovadlem MTD 5000 – vazba bonded.....	87
Obrázek 7.6- Uložení hřídelí polohovadel MTD 5000 a MTD 2000 – revolute joint.....	87
Obrázek 7.7- Spojení upínací desky s polohovadlem MTD 2000 - bonded.....	87
Obrázek 7.8- Poloha těžiště testovacího přípravku	88
Obrázek 7.9- Síťovaný MKP model polohovadla	88
Obrázek 7.10- Zatížení polohovadla a sledovaná místa deformací	89
Obrázek 7.11- Maximální nepřesnost v místech svaru (výchozí varianta)	89
Obrázek 7.12- Vyztužení podstavce žebry	90
Obrázek 7.13- Maximální nepřesnost v místech svaru (1. varianta)	90
Obrázek 7.14- Vyztužení L ramene žebrem uprostřed	91
Obrázek 7.15- Maximální nepřesnost v místech svaru (2. varianta)	91
Obrázek 7.16- Rozšíření L ramene do tvaru nosníku stálé pevnosti	92
Obrázek 7.17- Maximální nepřesnost v místech svaru (3. varianta)	92
Obrázek 7.18- Polohovadlo s oboustranným podepřením.....	93
Obrázek 7.19- Maximální nepřesnost v místech svaru (4. varianta)	94
Obrázek 7.20- Testovací pozice polohovadla.....	95
Obrázek 7.21- Zátěžné (F_g MTD 2000) a vyvažovací (F_v) síly působící na polohovadle v poloze natočení o 90°	95
Obrázek 7.22- Zavedení vyrovnávacích sil do MKP modelu.....	96

Obrázek 7.23- Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (4. varianta).....	97
Obrázek 7.24- Příčné vyztužení L ramen	97
Obrázek 7.25- Maximální nepřesnost v místech svaru (5. varianta)	98
Obrázek 7.26- Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (4. varianta).....	98
Obrázek 7.27- Detailnější návrh L ramene	99
Obrázek 7.28- Zámky pro stavebnicové sestavení plechů.....	99
Obrázek 7.29- Připojení L ramene k polohovací jednotce MTD 5000	100
Obrázek 7.30- Středící příruba	100
Obrázek 7.31- Připojení MTD 5000 k podstavci.....	100
Obrázek 7.32- Připojení MTD 2000 k L ramenům	100
Obrázek 7.33- Připojení protizávaží na L ramena	101
Obrázek 7.34- Finální varianta polohovadla s upnutým modelovým přípravkem	102
Obrázek 7.35- Maximální nepřesnost v místech svaru (finální varianta - modelový přípravek).....	102
Obrázek 7.36- Maximální nepřesnost v místech svaru při natočeném polohovadle (modelový přípravek)	103
Obrázek 7.37- MKP model svařovacího přípravku	104
Obrázek 7.38- Zavedení upínací síly do MKP modelu	104
Obrázek 7.39- Zavedení upínacích sil do MKP modelu (celkový pohled)	104
Obrázek 7.40- Zavedení třecích vazeb do modelu	105
Obrázek 7.41- Spojení přítlačné desky s dílcem	105
Obrázek 7.42- Vazba fixed support pro „upnutí“ přípravku	106
Obrázek 7.43- Základní poloha přípravku.....	106
Obrázek 7.44- Poloha přípravku při natočení o 90° v jedné/ dvou osách	106

Obrázek 7.45- Maximální odchylka v místech svaru vlivem nepřesnosti přípravku.....	107
Obrázek 7.46- Udávaná přesnost polohovacích jednotek MTD 2000 a MTD 5000 [90].....	108
Obrázek 7.47- Maximální posunutí (v místě svaru): a) dílce v přípravku, b) přípravku na polohovadle	108
Obrázek 7.48- Schéma maximálního celkového posunutí vlivem poddajnosti přípravku a polohovadla	109
Obrázek 7.49- Přípravek upnutý k jednotce MTD 2000	110
Obrázek 7.50- Schéma posunutí vlivem nepřesnosti jednotky MTD 2000.....	110
Obrázek 7.51- Schéma posunutí vlivem nepřesnosti jednotky MTD 5000.....	111
Obrázek 7.52- Schéma celkového maximálního posunutí v místě svaru	112
Obrázek 7.53- Schéma celkového maximálního posunutí místa svaru	114
Obrázek 8.1- Robotické svařovací pracoviště v pracovní hale.....	115
Obrázek 8.2- Půdorys svařovacího pracoviště.....	116
Obrázek 8.3- Detail částí pracoviště	116
Obrázek 8.4- Základní rozměry svařovacího pracoviště	117
Obrázek 8.5- Ověření dosažitelnosti krajních poloh modelového přípravku	118
Obrázek 8.6- Ověření dosažitelnosti vnitřních hran dílce	118
Obrázek 8.7- Přítlačná deska: a) původní, b) odlehčená	119
Obrázek 8.8- Svařování na vnějších hranách nádrže	120
Obrázek 8.9- Svařování lemů v horní části nádrže	120
Obrázek 8.10- Přivaření příčky nádrže	121

Seznam tabulek

Tabulka 5.1- Srovnání typů polohovadel z hlediska použití pro modelový dílec .	66
Tabulka 6.1- Parametry rychloupínky 307 Z [81]	72
Tabulka 6.2- Parametry rychloupínky 220 UZ [82]	76
Tabulka 6.3- Parametry polohovadla MTD 2000 [83]	78
Tabulka 6.4- Parametry upínacího modulu NSE3 138-V1-P [84]	78
Tabulka 7.1- Parametry polohovadla MTD 5000 [83]	84
Tabulka 7.2- Parametry robotu IRB 4600-20/2.50 [86]	113

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- 1 a) Sestavný výkres svařovacího přípravku (DP-PB-0001)
- 1 b) Kusovník k sestavě svařovacího přípravku (DP-PB-0001-K)
 - 1.1 a) Sestava svařence základové desky přípravku (DP-PB-0001-01)
 - 1.1 b) Kusovník k sestavě svařence základové desky (DP-PB-0001-01-K)
 - 1.1.1 Deska 1 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-01)
 - 1.1.2 Deska 2 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-02)
 - 1.1.3 Žebro 1 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-03)
 - 1.1.4 Žebro 2 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-04)
 - 1.1.5 Žebro 3 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-05)
 - 1.1.6 Žebro 4 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-06)
 - 1.1.7 Žebro 5 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-07)
 - 1.1.8 Žebro 6 – výrobní výkres (DP-PB-0001-01-08)
 - 1.2 a) Dorazový sloupek - pevný (DP-PB-0001-02)
 - 1.2 b) Kusovník - dorazový sloupek - pevný (DP-PB-0001-02 - K)
 - 1.2.1 a) Sestava svařence dorazového sloupku (DP-PB-0001-02-01)
 - 1.2.1 b) Kusovník k sestavě doraz. sloupku (DP-PB-0001-02-01-K)
 - 1.2.1.1 Plech 1 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-01)
 - 1.2.1.2 Plech 2 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-02)
 - 1.2.1.3 Plech 3 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-03)

- 1.2.1.4 Plech 4 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-04)
- 1.2.1.5 Plech 5 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-05)
- 1.2.1.6 Plech 6 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-06)
- 1.2.1.7 Plech 7 – výrobní výkres (DP-PB-0001-02-01-07)
- 1.3 a) Dorazový sloupek - pohyblivý (DP-PB-0001-03)
- 1.3 b) Kusovník - dorazový sloupek - pohyblivý (DP-PB-0001-03 - K)
 - 1.3.1 Doraz-kruhový – výrobní výkres (DP-PB-0001-03-01)
- 1.4 a) Sestava upínací desky (DP-PB-0001-04)
- 1.4 b) Kusovník k sestavě upínací desky (DP-PB-0001-04 - K)
 - 1.4.1 Upínací deska – výrobní výkres (DP-PB-0001-04-01)
- 2 a) Sestava přítlačné desky (DP-PB-0002)
- 2 b) Kusovník k přítlačné desky (DP-PB-0002-K)
 - 2.1 a) Sestava svařence přítlačné desky (DP-PB-0002-01)
 - 2.1 b) Kusovník k sestavě svařence přítlačné desky (DP-PB-0002-01-K)
 - 2.1.1 Deska – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-01)
 - 2.1.2 Žebro 1 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-02)
 - 2.1.3 Žebro 2 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-03)
 - 2.1.4 Žebro 3 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-04)
 - 2.1.5 Žebro 4 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-05)
 - 2.1.6 Žebro 5 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-06)
 - 2.1.7 Žebro 6 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-07)
 - 2.1.8 Žebro 7 – výrobní výkres (DP-PB-0002-01-08)

Elektronické přílohy

1. Diplomová práce.pdf
2. Diplomová práce.docx
3. Model svařovacího přípravku.prt
4. Model polohovadla.prt
5. Výkresová dokumentace.pdf
6. Video – simulace svařování.mp4