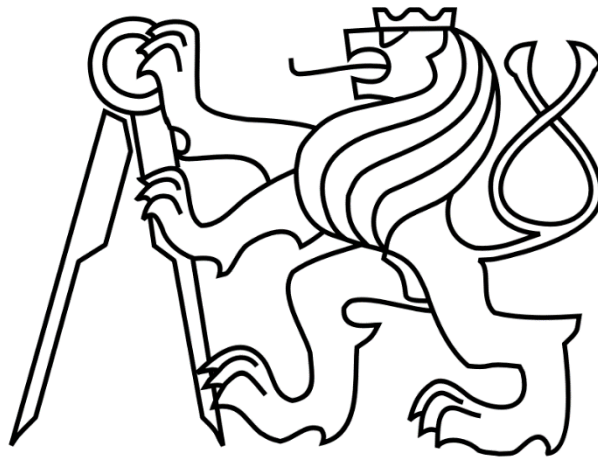


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

**Návrh standardizovaného svařovacího robotického pracoviště
s použitím tzv. „E“ rámu**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Salva** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **482402**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh standardizovaného svařovacího robotického pracoviště s použitím tzv. „E“ rámu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a standardized welding robotic workplace using the so-called "E" frame

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Návrh pracoviště s tzv. E-rámem pro obloukové svařování. Pracoviště musí být modulární ve smyslu různých zatížení, velikostí robota a maximální délky svařovacího přípravku, který lze do pracoviště integrovat. Pro návrh pracoviště uvažovat systém s jedním robotem a dvěma polohovadly o nosnosti do 5000 kg, maximální délce mezi přírubami 5000 mm a maximálním protočným průměru svařovacího přípravku 2000 mm. Pracoviště navrhnout s ohledem na ergonomii, bezpečnost a výrobní náklady. Řídicí systém robota bude vybavený funkcí SafeMove Pro II. Pro certifikaci pracoviště není nutné řešit odsávání zplodin; Osnova práce: Uvedení do dané problematiky, rešerše řešení automatizovaných svařovacích pracovišť, seznámení se s programem Robot Studio, návrh koncepčních způsobů řešení bezpečnosti pracoviště, návrh hlavního rámu pracoviště s ohledem na náklady, transport a modularitu, výhody a nevýhody zvolených přístupů, návrhové výpočty, zhodnocení; Rozsah grafické části: Potřebné obr., graf., tab., 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníku, výrobní výkresy dle zadání. Rozsah textové části: 40-60 stran.

Seznam doporučené literatury:

J. Talácko, Automatizace výrobních strojů a zařízení, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2000. 50 s.; J. Skařupa, Průmyslové roboty a manipulátory, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 229 s.; V. Andrlík, Průmyslové roboty a manipulátory, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012. 256 s..

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc., ústav výrobních strojů a zařízení FS

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

Ing. Lukáš Hulínský, ABB Robotics

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v přiloženém 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 23.7.2021

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Andrlíkovi, CSc., a konzultantu Ing. Lukáši Hulínskému z firmy ABB Robotics za cenné rady a podněty při řešení bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat především své rodině za podporu a trpělivost během celého mého studia.

Anotace

Autor:	Ondřej Salva
Název BP:	Návrh standardizovaného robotického pracoviště s použitím tzv. „E“ rámu
Rozsah práce:	81 str., 53 obr., 8 tab.
Školní rok vyhotovení:	2020/2021
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Kontulant:	Ing. Lukáš Hulínský, ABB Robotics
Zadavatel:	ABB Robotics
Využití:	Návrh svařovacího pracoviště se dvěma polohovadly a pojezdovou dráhou pro svařovacího robota
Klíčová slova:	svařování, průmyslový robot, automatizace, „E“ rám, svařovací pracoviště, ABB
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem svařovacího robotického pracoviště a konstrukce tzv. „E“ rámu pro zadané rozměry. Je navržena konstrukce rámu a řešení její variability pro různé zadané parametry a jsou provedeny kontrolní výpočty pro stav největšího namáhání. Dále je zpracováno uspořádání pracoviště a varianty jeho zabezpečení.

Annotation

Author:	Ondřej Salva
Title of bachelor dissertation:	Design of a standardized welding robotic workplace using the so-called “E” frame
Extent:	81 pg., 53 fig., 8 tab.
Academic year:	2020/2021
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	U12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Lukáš Hulínský, ABB Robotics
Submitter of the Theme:	ABB Robotics
Application:	Design of a welding workplace with two positioners and a track for welding robot
Key words:	welding, industrial robot, automation, “E” frame, welding workplace, ABB
Annotation:	Bachelor Thesis is focused on designing a welding robotic workplace and construction of an “E” frame for given dimensions. The construction of the frame is designed for variable parameters and calculations are made for the variant with the highest stress. Layout of the workplace is designed together with various safety options.



OBSAH

Seznam použitých veličin	9
1 Úvod	13
2 Cíle práce	14
3 Význam automatizace	15
3.1 Mechanická automatizace	15
4 Automatizace ve svařování	16
4.1 Technologie obloukového svařování v ochranné atmosféře	16
4.2 Rozdělení svařovacích výrobních systémů	17
4.3 Výhody robotického svařování	18
4.4 Nevýhody robotického svařování	18
5 Roboty	19
5.1 Kinematická stavba průmyslových robotů a manipulátorů	19
5.2 Struktury konvenčních manipulačních zařízení se sériovou kinematickou strukturou	21
6 Polohovadla a pojezdové dráhy	24
6.1 Jednoosá polohovadla	24
6.2 Jednoosá polohovadla se dvěma přípravky	24
6.3 Víceosá polohovadla s jedním přípravkem	25
6.4 Dvouosá polohovadla se dvěma přípravky	25
6.5 Polohovadla s více přípravky	26
6.6 Lineární polohovadla	26
7 Bezpečnost	27
7.1 Předpisy a normy	27
7.2 Označení CE	27
7.3 Rizika svařovacího robotického pracoviště	28
7.4 Typy bezpečnostních prvků	29
8 Navrhované pracoviště	31
8.1 Zadané parametry pracoviště	31
8.2 Varianty řešení délky rámu	32
8.3 Varianty řešení různých protočných průměrů	34
9 Řešení konstrukce rámu	36
9.1 Použité komponenty	36
9.2 Konstrukce rámu	39



9.3	Spojení částí rámu	40
9.4	Návrh koníku.....	42
9.5	Kompletní rám	46
10	Variabilita rámu	49
10.1	Nosnost.....	49
10.2	Délka	50
10.3	Protočný průměr.....	51
11	Kontrolní výpočty podstavce	55
11.1	Kontrola šroubů.....	56
11.2	Kontrola svaru	59
11.3	Kontrola namáhání uzavřeného profilu.....	63
12	Uspořádání pracoviště.....	66
12.1	Varianty zabezpečení pracoviště.....	66
12.2	Návrh oplocení	67
12.3	Model pracoviště.....	70
13	Závěr	73
	Seznam použité literatury	75
	Seznam obrázků.....	79
	Seznam tabulek	80
	Seznam použitého softwaru	81
	Seznam příloh	81



SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Označení	Název	Jednotka
$\alpha_{kolmé}$	součinitel anizotropie pro kolmé namáhání	-
α_{kon}	úhel zkosení koníku	°
α_{MTD}	úhel zkosení podstavce převodové jednotky	°
α_{rovn}	součinitel anizotropie pro rovnoběžné namáhání	-
β	součinitel koutového svaru	-
γ	úhel stoupání závitu	°
σ_k	mez kluzu materiálu S235JR	N.mm ⁻²
$\sigma_{k_šr}$	mez kluzu šroubu třídy 8.8	N.mm ⁻²
σ_{o_pr}	ohybové napětí v uzavřeném profilu	N.mm ⁻²
σ_{Q0}	normálové napětí od montážního předpětí šroubu	N.mm ⁻²
σ_{Q1}	tahové napětí v jádře šroubu	N.mm ⁻²
σ_{red_pr}	redukované napětí v uzavřeném profilu	N.mm ⁻²
$\sigma_{red_šr}$	redukované napětí ve šroubu	N.mm ⁻²
σ_{tl_pr}	tlakové napětí v uzavřeném profilu	N.mm ⁻²
$\tau_{šr}$	smykové napětí ve šroubu	N.mm ⁻²
τ_{k_sv}	tlakové napětí ve svaru	N.mm ⁻²
τ_{o_sv}	ohybové napětí ve svaru	N.mm ⁻²
τ_{red_sv}	redukované napětí v koutovém svaru	N.mm ⁻²
τ_{s_sv}	smykové napětí ve svaru	N.mm ⁻²
φ'	třetí úhel	°
ω_{max}	maximální úhlová rychlost převodové jednotky	rad.s ⁻¹
a	vzdálenost nositelky zatěžovací síly od převodové jednotky	mm
a_o	šířka podélné části rámu (včetně zábrany)	mm
a_{pr}	tloušťka stěny uzavřeného profilu	mm
a_{sv}	charakteristický rozměr koutového svaru	mm
b	vzdálenost nositelky zatěžovací síly od koníku	mm
b_o	zvolená vzdálenost rámu od oplocení	mm
b_{pr}	šířka řezu uzavřeného profilu	mm
b_{sv}	šířka šikmého řezu profilem	mm
c_o	zvolený rozměr oplocení	mm



C_0	základní statická únosnost ložiska	kN
d	rozteč paprsků optické závory	mm
d_2	střední průměr šroubu	mm
d_3	průměr jádra šroubu M24	mm
D	maximální použitelný protočný průměr polohovadla	mm
e	vůle mezi svařovacím přípravkem a zábranou	mm
F	tíhová síla svařence	N
$F_{k_{sv}}$	kolmá síla zatěžující svar	N
F_n	odstředivá síla svařence při rotaci polohovadla	N
F_r	radiální síla působící na kuličkové ložisko	N
$F_{s_{sv}}$	smyková síla působící na svar	N
F_t	tečná setrvačná síla svařence při zastavování polohovadla	N
$F_{tl_{pr}}$	tlaková síla na uzavřený profil	N
g	gravitační zrychlení	m.s ⁻²
h_{pr}	výška řezu uzavřeného profilu	mm
h_{sv}	výška šikmého řezu profilem	mm
h_t	vzdálenost těžiště převodové jednotky od její základní roviny	mm
H	vzdálenost osy polohovadla od země	mm
j	zvolená vzdálenost vrat od svařovacího přípravku	mm
$J_{z_{pr}}$	kvadratický moment uzavřeného profilu	mm ⁴
$J_{z_{sv}}$	kvadratický moment svaru	mm ⁴
k_{pr}	součinitel bezpečnosti uzavřeného profilu	-
k_{sr}	součinitel bezpečnosti šroubu	-
k_{sv}	součinitel bezpečnosti svaru	-
K	rychlost pohybu operátora	mm.s ⁻¹
L_{celk}	celková navrhovaná délka oplocení	mm
L_{dl}	délka dlouhé strany seříznutého profilu	mm
L_h	vzdálenost osy polohovadla od horního okraje profilu koníku	mm
L_{jekl}	osová délka uzavřeného profilu	mm
L_{kon}	osová délka uzavřeného profilu koníku	mm



$L_{levá}$	délka levé části pojezdové dráhy	mm
L_{MTD}	vzdálenost rotační osy převodové jednotky od její základní roviny	mm
$L_{pravá}$	délka pravé části pojezdové dráhy	mm
m	hmotnost svařence	kg
m_{MTD}	hmotnost převodové jednotky	kg
M_k	kroučící moment převodové jednotky	N.m
M_{o_pr}	ohybový moment působící ve vetknutí profilu	N.mm
M_{o_sv}	ohybový moment pro výpočet svaru	N.mm
n	počet šroubů v jedné řadě	-
P_0	ekvivalentní statické zatížení ložiska	kN
q	součinitel předpětí pro proměnnou vnější zatěžovací sílu	-
Q_1	maximální provozní síla působící na šroub	N
r_{max}	maximální přípustná vzdálenost těžiště svařence od osy polohovadla	m
R	tahová reakční síla v jedné řadě šroubů	N
R_B	radiální zatížení koníku	N
R_i	tahová síla v jednom šroubu	N
s	bezpečná vzdálenost mezi svařovacím přípravkem a světelnou závorou	mm
s_0	statický koeficient bezpečnosti ložiska	-
s_1	tloušťka spodního plechu podstavce	mm
s_2	tloušťka základového plechu rámu	mm
S_{pr}	plocha průřezu uzavřeného profilu	mm ²
S_{sv}	plocha svaru	mm ²
t	tloušťka upínacího plechu podstavce	mm
t_{MTD}	čas zastavení převodové jednotky	s
t_{PLC}	zpoždění PLC	s
t_{sick}	zpoždění světelné závory	s
$t_{stykač}$	čas vypnutí stykače	s
T_{celk}	celkové zpoždění reakce při zastavení	s



v	vzdálenost středu podstavce od zábrany podél pojezdové dráhy	mm
v_o	zvolená vzdálenost dráhy od oplocení	mm
v_{sr}	vzdálenost řad upínacích šroubů	mm
w_o	zvolená vzdálenost dráhy od oplocení	mm
$W_{o_{pr}}$	modul v ohybu uzavřeného profilu	mm ³
$W_{o_{sv}}$	modul svaru v ohybu	mm ³
x	podélný rozměr oplocení	mm
y_1	fixní rozměr oplocení	mm
y_2	proměnný rozměr oplocení	mm



1 ÚVOD

V dnešní době je v průmyslu možné pozorovat snahu o nahrazení lidské práce automatizovanými procesy.

Důvodů může být několik. V první řadě jde o vyšší produktivitu, minimální pracovní výkyvy i lepší kvalitu práce ve prospěch automatizované výroby. Druhým důvodem k využívání strojů ve výrobních procesech je minimalizace přítomnosti člověka u monotónních, fyzicky namáhavých a v některých případech i nebezpečných úkonů.

Se zaváděním automatizované výroby souvisí návrh pracovišť. Jelikož přítomnost člověka ve většině případů nejde naprosto vyloučit, je třeba navrhnout taková pracoviště, která budou splňovat bezpečnostní předpisy, a tudíž omezit riziko zranění na minimum.

Návrhem jednoho takového pracoviště, konkrétně svařovacího, se zabývá tato bakalářská práce.



2 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je návrh robotického pracoviště pro obloukové svařování s použitím tzv. E-rámu. E-rám je konstrukce sloužící k upevnění pojezdové dráhy robotu a dvou jednoosých polohovadel s jedním svařovacím přípravkem. Jedná se o rozložení pracovního prostoru využívající dvou polohovadel pro úsporu času, kdy na jednom polohovadle probíhá svařování, zatímco na druhém může probíhat zakládání polotovaru, či vyjímání hotového svařence.

Dílčím úkolem práce je navržení konstrukce E-rámu, který by měl být modulární ve smyslu různých zatížení, velikostí robota, maximální délky a maximálního protočného průměru svařovacího přípravku, který lze do pracoviště integrovat. Pro navrhovaný rám budou provedeny kontrolní výpočty.

V závěru je třeba navrhnout různé varianty zabezpečení pracoviště, jednu z variant vybrat a vypracovat pro ni 3D model pracoviště.

3 VÝZNAM AUTOMATIZACE

Není sporu o tom, že automatizace má v dnešní době významný vliv na chod společnosti, na jedné straně stojí její zastánci, kteří tvrdí, že ulehčí člověku od namáhavých, monotónních a nebezpečných úkonů a zároveň přinese zvýšení produkce a kvality výrobků. Na druhé straně jsou odpůrci, kteří jsou vůči automatizaci výroby skeptičtí a obávají se, že stroje člověka v mnoha profesích připraví o práci.

Automatizace je obecně výsledkem snahy člověka o usnadnění vlastní práce pomocí strojů, které jsou schopny provádět konkrétní úkony místo něj rychleji, s větší přesností, s vyšší mírou konzistence a levněji. [1]

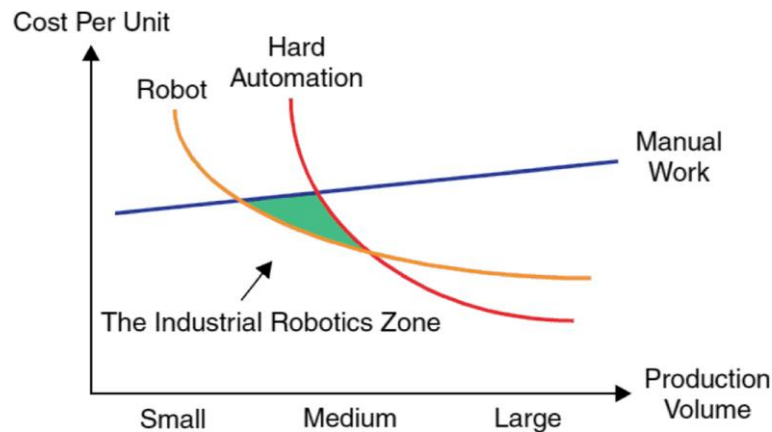
3.1 MECHANICKÁ AUTOMATIZACE

Pod tento typ patří industriální roboty, které mechanickými rameny provádí rutinní úkony pracovníků. Příkladem může být zvedání a přesun předmětů, jejich natírání či sváření. Navzdory široké možnosti využití robotů je však kvůli ekonomické optimalizaci veliké množství této práce prováděno manuálně. Klesající cena robotů by ale v budoucnu měla umožnit jejich využití ve stále menších a menších provozech. S příchodem kolaborativních robotů se také otevírají možnosti jejich využití jako pomocníků člověka. Tyto stroje umožňují využití v prostorově omezených provozech a v bezprostřední blízkosti lidí, což je v kontrastu s industriálními roboty, které představují riziko pro pracovníky a musejí být ohrazeny fyzickými bariérami nebo optickými závorami. Z důvodů bezpečnosti je ale u kolaborativních robotů omezena rychlost, čímž je snížena jejich produktivita. [1]

Téma, které je často spojované s robotizací výroby, je nezaměstnanost. Je třeba si uvědomit, že roboty lidem neberou práci, ale spíše usnadňují práci náročnou a monotónní, kterou jsou schopny vykonávat rychleji a s větší přesností. Ve velkém množství případů nahrazují člověka ve zdravotně nepříznivých prostředích. Zavádění robotů do průmyslové výroby je navíc spojeno se vznikem nových pracovních pozic, jako je například údržba. [2] [3]

4 AUTOMATIZACE VE SVAŘOVÁNÍ

Průmyslové roboty se staly nenahraditelnou součástí svařování v sériových výrobcích, kde by manuální svařování nespĺňovalo požadavky produktivity především kvůli nepříznivému pracovnímu prostředí a velmi vysokých fyzických nárocích na pracovníky. Jak je zobrazeno na Obr. 4.1, pro malé a střední produkce vykazuje robotická výroba nejlepší hodnoty ceny za vyrobený kus v porovnání s manuální prací a tvrdou automatizací. Spolu s cenou přináší ještě další výhody jako například větší produktivitu, bezpečnost, kvalitu svaru a využití pracovního prostoru. Naopak nevýhodou oproti manuálnímu svařování může být menší schopnost přizpůsobit se změnám prostředí a podmínek. Robotizace také vyžaduje vyšší nároky na přípravu, tedy především vyšší přesnost vstupních dílů. [4] [5]



Obr. 4.1 Cenové a produkční porovnání výrob [4]

4.1 TECHNOLOGIE OBLOUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE

Svařování elektrickým obloukem patří do skupiny tavného svařování, kdy k tavení přídavného materiálu a k místnímu tavení základního materiálu slouží elektrický oblouk, který hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem, případně mezi dvěma elektrodami zapojenými na vhodný elektrický zdroj. V současné době je to nejpoužívanější metoda tavného svařování. [6] [7]

U svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře chrání oblouk i svarový kov před účinky okolí umělá atmosféra, která je tvořena vhodným ochranným plynem. Podle použitého ochranného plynu a podle elektrody rozlišujeme tyto způsoby obloukového svařování: [7]



1. Svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG – Metal Aktiv Gas)

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou a svařovaným materiálem v aktivní atmosféře oxidu uhličitého nebo směsi oxidu uhličitého, argonu a kyslíku. Tento způsob je v průmyslu používán nejčastěji, zejména v poloautomatickém nebo automatickém režimu. [7]

2. Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG – Metal Inert Gas)

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu argonu nebo hélia, případně jejich směsi. Svařuje se poloautomatickým nebo automatickým režimem. [7]

3. Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (WIG – Wolfram Inert Gas)

Elektrický oblouk hoří mezi netavnou wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu – nejčastěji argonu případně hélia nebo jejich směsí. Svařuje se zpravidla ručně. Tenké plechy lze svařovat bez přídavného materiálu, materiály s větší tloušťkou je potřeba svařovat s přídavným materiálem o stejném složení, jako má základní materiál. Do svařovacího oblouku se přídavný materiál přivádí ručně, nebo podavačem drátu. [7]

4.2 ROZDĚLENÍ SVAŘOVACÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

V závislosti na použitých svářecích technologiích je možné procesy rozdělit podle jednotlivých stupňů automatizace:

Nultý stupeň – svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou, použití upínacích prvků a polohovadel. [8] [9]

První stupeň – technologie ručního poloautomatického svařování s automatickým podáváním drátu přídavného materiálu, použití jednoduchých přípravků a polohovadel. [8] [9]

Druhý stupeň – technologie mechanizovaného svařování spojená s mechanickými svařovacími přípravky a polohovadly. Příklady jsou svařování v ochranné atmosféře (MIG, MAG, WIG), automatické svařování pod tavidlem, plazma, laser. [8] [9]



Třetí stupeň – automatické svařování jednoúčelovými svařovacími stroji a průmyslovými roboty. [8] [9]

4.3 VÝHODY ROBOTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ

Mezi nejpodstatnější výhody robotického svařování patří:

- Rychlost, zvýšení produktivity, zároveň je zachována vysoká kvalita svaru
- Efektivita, snižující se materiálové ztráty
- Velmi malá zmetkovitost
- Řešení problému s nedostatkem kvalifikovaných svářečů na trhu
- Omezení mzdových nákladů pracovníků
- Ulehčení od práce ve zdravotně nepříznivém prostředí [10]

4.4 NEVÝHODY ROBOTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ

I přes množství výhod robotického svařování je nutné vzít v potaz také nevýhody, které s sebou tato technologie přináší. Mezi nejdůležitější z nich patří:

- U malých a středně velikých produkcí zabere mnoho času přeprogramovat robota na svařování nových součástí.
- Robotické svařování vyžaduje velkou přesnost v konstrukci robota, kdy jeho tolerance nesmí přesahovat 0,5 mm.
- Pořízení svařovacího robota je pro mnoho podniků velkou počáteční investicí, je tedy nutné zvážit návratnost této koupě.
- Pokud robot není vybaven potřebnými senzory, není schopen samostatně provádět upravující rozhodnutí v procesu svařování. [4] [5]

5 ROBOTY

Průmyslové roboty a manipulátory jsou nedílnou součástí automatizace, která je v současnosti využívána v mnoha rozdílných odvětvích a představují nejprogresivnější prvek automatizace a robotizace. [11]

S tématem práce souvisí pojem robotizované pracoviště, čímž je označováno účelové seskupení výrobních zařízení a jednoho či více průmyslových robotů, které autonomně, v automatickém pracovním cyklu vykonává manipulační a (nebo) technologické operace daného výrobního procesu. [12]

Výhod, které využívání robotických pracovišť přináší, je mnoho. Na jedné straně jsou to výhody z pohledu práce člověka. Roboty ulehčují od namáhavé, monotónní a nebezpečné práce. Druhým faktorem je nárůst rychlosti, přesnosti a výkonu ve výrobě, což vede k výrazně větší produktivitě. [11]

Nedá se ovšem obecně říct, že automatizace a robotizace výrobních procesů se vyplatí ve všech případech. Je třeba zvážit sériovost výroby, pořizovací cenu zařízení a mnoho dalších aspektů.

5.1 KINEMATICKÁ STAVBA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ

Průmyslové roboty ve svých kinematických řetězcích používají dva druhy kinematických dvojic – otočné (rotační - R) a posuvné (translační - T). [11]

Kinematické řetězce jsou složeny z jednotlivých členů a vazeb (kinematických dvojic). Manipulační schopnosti zařízení jsou přímo úměrné počtu kinematických dvojic. U většiny zařízení je obvykle 6 stupňů volnosti (3 stupně pro polohování a 3 stupně pro orientaci). [11]

5.1.1 Sériová kinematická struktura

Rotační a translační kinematické dvojice jsou u této struktury řazeny sériově. V tomto konstrukčním provedení je v dnešní době vyrobeno přibližně 90 % robotů a manipulátorů. Nevýhodami této struktury jsou nízká tuhost (statické i dynamické kmitání), menší přesnost polohování a menší polohová tuhost. Na koncovém členu robota se projeví součet chyb z jednotlivých kinematických dvojic. Výsledný pohyb je složený z jednotlivých pohybů kinematických dvojic. [11] [13]

Výhodami uspořádání jsou jednoduchost struktury, snadné ovládání a řízení a lineární přenosové vztahy akčních členů. Příkladem robotu se sériovou kinematickou strukturou je IRB 2600ID od firmy ABB zobrazený na Obr. 5.1. [11]



Obr. 5.1 ABB IRB 2600ID [32]

5.1.2 Paralelní kinematická struktura

Jednotlivé členy jsou paralelně řazeny, konstrukčně je možné provést tři (tripod) nebo až šesti (hexapod) vzpěrnou strukturu. Takto vytvořené zařízení (robot či manipulátor) má vyšší tuhost, přesnost polohování ($\pm 0,01$ mm) a nižší hmotnost. Problémy u paralelních kinematik jsou vysoký nárok na řídicí systém (díky vývoji počítačové techniky není tak závažný), nelineární přenosové vztahy akčních členů a možnost vzniku kolizí vzpěr a singulárních poloh. [11] [13]

Na Obr. 5.2 je zobrazen příklad robotu s paralelní strukturou.



Obr. 5.2 ABB IRB 360 FlexPicker [32]

5.2 STRUKTURY KONVENČNÍCH MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÉRIOVOU KINEMATICKOU STRUKTUROU

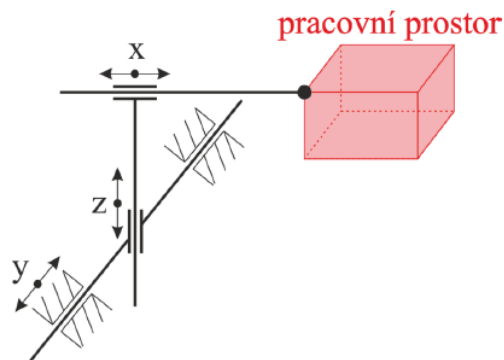
Se strukturou stroje úzce souvisí i tzv. geometrické charakteristiky neboli soubor parametrů, které určují geometrické vlastnosti jednotek, uzlů a systémů manipulátorů a robotů: [12]

- *Pracovní prostor* – prostor, ve kterém se pohybuje bod výstupu pohybového systému průmyslových robotů a manipulátorů při využití všech možností kombinace pohyblivých částí konstrukce [11]
- *Operační prostor (kolizní)* – prostor, který vyplňuje statická a pohybová část konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů v rozsahu celého pracovního prostoru [11]

Existuje několik způsobů uspořádání kinematických dvojic do sériové kinematické struktury. Zde jsou uvedena základní uspořádání:

5.2.1 Kartézská pohybová struktura (portálový robot) - TTT

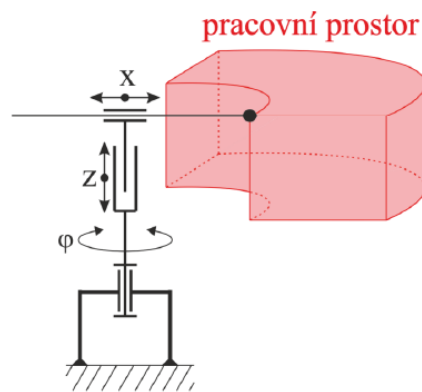
Tvořena ze tří na sebe kolmých translačních os, které svými pohyby vytváří čtyřboký hranolový pracovní prostor, který je zobrazen na Obr. 5.3. Při pohybu nedochází ke změně orientace objektu. Tato struktura je obvyklá u podavačů a obsluh výrobních strojů. Výhodou je snadné řízení, nevýhodou velká prostorová zastavěnost. [11] [13] [14]



Obr. 5.3 TTT pracovní prostor [11]

5.2.2 Cylindrická pohybová struktura – RTT

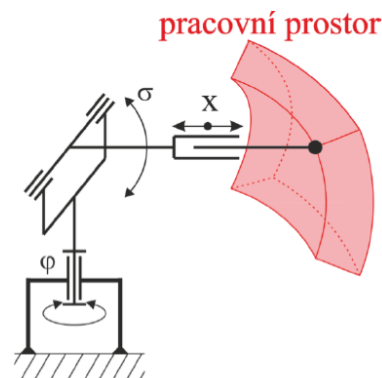
Tato struktura je tvořena z jedné rotační a dvou translačních os, její pracovní prostor má tvar válcového prstence, jak je zobrazeno na Obr. 5.4. Manévrování se zařízením vyžaduje veliký operační prostor a dochází při něm ke změně orientace manévrovaného objektu. Příkladem použití je obsluha vstřikovacích strojů nebo strojů na tlakové lití, strojů k vysokorychlostní montáži, kalení a k jemným aplikacím. Pro tuto strukturu existuje variace v podobě RRT známá pod názvem SCARA. Výhodou tohoto řešení je relativně nízká cena. [11] [13] [14]



Obr. 5.4 RTT pracovní prostor [11]

5.2.3 Sférická pohybová struktura – RRT

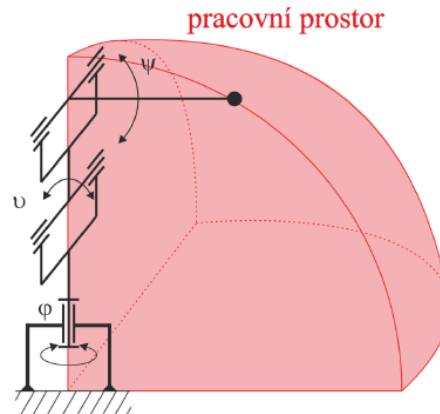
Tvořena ze dvou rotačních a jedné translační osy, pracovním prostorem je kulový prstavec zobrazený na Obr. 5.5. Při manévrování dochází ke změně orientace objektu a polohování je ve sférických souřadnicích. Používá se především pro svařovací linky. [11] [13] [14]



Obr. 5.5 RRT pracovní prostor [11]

5.2.4 Angulární pohybová struktura – RRR

V současné době nejrozšířenější struktura robotů a manipulátorů, především díky své univerzálnosti. Při manipulaci dochází ke změně orientace objektu. Pracovním prostorem je segment obecnějšího tvaru. Příklad pracovního prostoru je zobrazen na Obr. 5.6. [11] [13] [14]



Obr. 5.6 RRR pracovní prostor [11]

Manipulační zařízení je dále možné dělit podle aplikace:

1. Univerzální koncepce – využití v určitém rozsahu aplikací
2. Modulární koncepce – sestaven z modulů (pohybových jednotek)
3. Účelová koncepce – přizpůsobeno přímo dané činnosti [13]

Mezi nejvýznamnější výrobce průmyslových robotů patří:

- ABB
- Yaskawa Electric Corporation
- Kuka
- Fanuc [15]

6 POLOHOVADLA A POJEZDOVÉ DRÁHY

Polohovadla jsou zařízení sloužící ke změně polohy svařence tím způsobem, který je nejvýhodnější pro výrobní proces. Patří mezi základní součásti svařovacího robotizovaného pracoviště. Slouží především k polohování svařence za účelem docílení lepší svařovací pozice, v některých případech je také možné jejich využitím zkrátit svařovací čas. Svařence je možné polohovat po lineární nebo rotační trajektorii. Svařovací polohovadla mohou mít jeden, nebo více svařovacích přípravků a mohou být obsluhováni jedním, nebo více svařovacími roboty. [16] [17]

Typy polohovadel se od sebe liší především počtem pohybových os, nosností, počtem pozic pro přípravky a opakovatelnou přesností. Výhodou většího počtu svařovacích přípravků je úspora času, kdy obvykle obsluha na jednom přípravku upíná polotovár, či vyjímá hotový svařenec, zatímco na ostatních přípravných se svařuje. [16] [17]

6.1 JEDNOOSÁ POLOHOVADLA

Jednoosá polohovadla s vodorovnou osou rotace jsou vhodná pro polohování rozměrných a těžších svařenců, kdy svařencem rotují kolem jedné osy. Příkladem tohoto typu polohovadla je ABB IRBP L na Obr. 6.1. Polohovadlo tvoří modulární konstrukce skládající se z rotační jednotky s upínací přírubou, stojanu pro otočnou jednotku, podpěrného ložiska a podpěrného nosníku. Tento typ polohovadel se vyznačuje jednoduchou konstrukcí i řízením. [16] [17]



Obr. 6.1 ABB IRBP L [31]

6.2 JEDNOOSÁ POLOHOVADLA SE DVĚMA PŘÍPRAVKY

Polohovadla se dvěma přípravky se používají pro zkrácení časů mezi svařovacími operacemi. Samotné přípravky polohují kolem jedné osy, po dokončení svařovací operace se polohovadlo otočí kolem vertikální centrální osy tzv. interchange jednotky, která je

umístěna na pevném základu. Na Obr. 6.2 je zobrazeno polohovadlo ABB IRBP R, které je příkladem této struktury. [16]

Další variantou jednoosého polohovadla se dvěma přípravky může být polohovadlo s horizontální centrální osou. Tato podoba je zobrazena na Obr. 6.3 a její nevýhodou je omezení rozměru svařence tak, aby bylo možné otočit polohovadlem kolem centrální osy a nedošlo ke kontaktu se zemí. [16]



Obr. 6.2 ABB IRBP R [31]



Obr. 6.3 ABB IRBP K [31]

6.3 VÍCEOSÁ POLOHOVADLA S JEDNÍM PŘÍPRAVKEM

Víceosá polohovadla jsou mnohem variabilnější v polohování svařence vůči svařovacímu robotu. Polohovadlo je vybaveno pohonnou jednotkou pro horizontální polohování, pohonnou jednotkou s upínací přírubou pro vertikální polohování, ramenem a stojanem. Polohovadla této konstrukce jsou obvykle určena k manipulaci s méně rozměrnými a méně hmotnými svařenci, příklad je zobrazen na Obr. 6.4. [16]

6.4 DVOUSÁ POLOHOVADLA SE DVĚMA PŘÍPRAVKY

Jedná se o podobné řešení jako u jednoosých polohovadel se dvěma přípravky. Přípravky jsou od sebe odděleny zástěnou, může tedy zároveň probíhat svařování a vyjímání svařence, či zakládání polotovaru do druhého přípravku. Po dokončení operace se polohovadlo otočí kolem centrální osy. Pro méně hmotné a rozměrné svařence je vhodné například polohovadlo IRBP B od firmy ABB zobrazené na Obr. 6.5. [16]

Pro polohování dlouhých a těžkých svařenců se často používá polohovadlo, kde je přípravek upnut mezi pohonnou jednotku a koník. Příkladem tohoto typu je polohovadlo ABB IRBP D na Obr. 6.6. [16]



Obr. 6.4 ABB IRBP A [31]



Obr. 6.5 ABB IRBP B [31]



Obr. 6.6 ABB IRBP D [31]

6.5 POLOHOVADLA S VÍCE PŘÍPRAVKY

Tento typ se využívá v hromadných výrobach, kde mají polohovadla tři a více přípravků. Na jednom přípravku mohou probíhat zakládací operace, zatímco na ostatních svařují roboty. Po dokončení příslušné operace se polohovadlo otočí o úhel, který je určený počtem přípravků. [16]

6.6 LINEÁRNÍ POLOHOVADLA

Mohou se pohybovat v jedné, dvou i třech lineárních osách. Využívají se například v automobilovém průmyslu, kde se svařenec pohybuje po lince a na každém dalším stanovišti je prováděna svařovací operace. Po dokončení operace se svařenec po lineárním polohovadle posouvá dále. [16]

Dalším příkladem mohou být pojezdové dráhy robotů, kdy slouží polohovadlo jako sedmá osa robota, čímž zvyšuje jeho dosah. Příkladem využití může být pracoviště se dvěma polohovadly, mezi kterými se robot pohybuje po pojezdové dráze.

7 BEZPEČNOST

Při návrhu robotického pracoviště je třeba v první řadě dbát na bezpečnost. Vždy jde o snahu minimalizovat jakoukoli možnost úrazu na daném pracovišti. Nebezpečí může být různých druhů, záření při svařování, rychlý pohyb robota nebo výpary při svařovacím procesu. Všechny tyto varianty je třeba zvážit a vzít v potaz při finální realizaci robotického pracoviště.

7.1 PŘEDPISY A NORMY

Požadavky na bezpečnost pracoviště jsou stanoveny několika právními předpisy. Existují předpisy EU, předpisy České republiky a dále množství norem, které je nutné splnit před uvedením do provozu. [18]

Bezpečnostní normy jsou hierarchicky rozděleny do několika úrovní. Normy na nejvyšší úrovni předepisují obecné požadavky na strojní zařízení, další úrovně udávají požadavky v konkrétních skupinách a jednotlivých případech. [19]

Mezi základní normy vztahující se na robotické pracoviště patří 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 [18]

7.2 OZNAČENÍ CE

Před uvedením na trh musí dále daný produkt, v tomto případě robotické pracoviště, získat označení CE. Toto označení prokazuje, že výrobce daný výrobek posoudil, a že výrobek splňuje bezpečnostní, zdravotní i environmentální požadavky EU. Označení se vyžaduje u výrobků, které jsou uváděny na trh EU a nezáleží na místě jejich výroby. [20]

Na to, aby mohl výrobce výrobek opatřit označením CE, nepotřebuje žádnou licenci, musí ale:

- Zajistit shodu výrobku se všemi příslušnými celounijními požadavky
- Určit, zda může výrobek posoudit sám, nebo o to musí požádat oznámený subjekt
- Sestavit technickou dokumentaci, která shodu dokládá
- Vytvořit a podepsat prohlášení o shodě [20]

Technická dokumentace musí obsahovat informace o konstrukci výrobku a o jeho výrobci a fungování. Musí být zajištěno, aby od okamžiku uvedení výrobku na trh měly k technické dokumentaci přístup orgány dozoru nad trhem (na vyžádání). Technická dokumentace musí být uschována po dobu 10 let od uvedení výrobku na trh (pokud není výslovně uvedeno jinak). [21]

7.3 RIZIKA SVAŘOVACÍHO ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ

Bezpečnost je u každého výrobního procesu jedním z nejdůležitějších, ne-li nejdůležitějším aspektem. Analyzování všech možných rizik je ale často složitý proces. V této analýze pomáhají již výše zmíněné normy, směrnice a zákony, samotná analýza rizik je navíc u každého nového i pozměněného zařízení přímo vyžadována evropskou směrnicí č. 2006/42/EC. Po zaměstnavateli je vyžadováno, aby prováděl identifikaci nebezpečí a na základě tohoto zjištění zhodnocoval a analyzoval vyhledaná rizika. Následně jsou přijímána opatření snižující míru rizika. [19]

V každém případě je nutné zhodnotit rizika vztahující se na konkrétní problém, mezi rizika při práci na robotizovaném pracovišti patří například:

- Mechanická nebezpečí (stlačení, pořezání, navinutí, náraz, propíchnutí, odření)
- Elektrická nebezpečí (elektrický šok, popálení)
- Tepelná nebezpečí (popáleniny, výbuch, dehydratace)
- Nebezpečí hluku (narušení a ztráta sluchu, rovnováhy, vědomí)
- Nebezpečí vibrací (únava, neurologické poškození, cévní onemocnění)
- Nebezpečí záření (poškození zraku)
- Nebezpečí látky (otrávení, 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) [22]

Po zhodnocení všech rizik daného pracoviště následuje jejich posouzení a aplikace bezpečnostních opatření.

7.4 TYPY BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ

Velikost a umístění bezpečnostních prvků se řídí normou ČSN EN ISO 13857, která určuje minimální vzdálenosti bezpečnostních prvků od pohyblivých částí stroje. Pro moderní robotická pracoviště je již samozřejmostí využívání oplocení, optických závor, ochranných závěsů a dalších opatření, jejichž základním úkolem je zamezení přístupu do nebezpečných prostor pracoviště. [23]

7.4.1 Tlačítko nouzového zastavení

Nezákladnější ochranný prvek, který lze nalézt téměř u všech strojů. Funkce nouzového zastavení musí být vždy použitelná a funkční, musí být zároveň nadřazena všem ostatním funkcím a činnostem ve všech provozních režimech stroje, bez narušení jakýchkoliv zařízení, která jsou navržena k uvolnění zachycených osob. Tlačítka musí být umístěna tak, aby byla snadno přístupná a schopna bezpečného ovládní obsluhou a dalšími osobami, které je mohou potřebovat ovládat. [24]

7.4.2 Pevné zábrany

Jsou nejzákladnějším bezpečnostním opatřením strojních zařízení, zabraňují obsluze (či nepovolané osobě) v přístupu do míst s hrozcím nebezpečím, jako například pracovní prostor robotu. Nejběžnějším představitelem těchto prvků jsou stavebnicová oplocení, která jsou levným a účinným řešením. Existují jak v průhledném klecovém provedení, tak i v podobě neprůhledných stěn, které jsou vhodné pro svařovací buňky. Vstup do prostoru je možný pomocí dveří opatřených bezpečnostním spínačem, který při vstupu osoby do prostoru automaticky zastaví všechny nebezpečné části pracoviště. [22] [23] [25] [26] [27]

7.4.3 Bezpečnostní dveřní systémy

Dveřní systémy jsou nedílnou součástí pevných zábran. Do této skupiny řadíme bezpečnostní dveřní spínače, bezpečnostní zámky a bezkontaktní spínače. Všechny tyto prvky slouží k zabránění vstupu do nebezpečného prostoru při chodu pracoviště a zároveň

zabraňují samovolnému uzamčení, pokud se obsluha nachází v pracovním prostoru. Bezpečnostní zámky mají také zpravidla ze strany vnitřního prostoru pracoviště tlačítko nouzového zastavení, které zajistí okamžité zastavení pracovního cyklu. [22] [23]

7.4.4 Bezpečnostní světelné závory

Světelné závory jsou velmi využívaným bezpečnostním prostředkem. Fungují na principu světelných paprsků mezi vysílačem a přijímačem. Jakmile je světelný paprsek přerušen, posílá závora signál řídicímu systému, který učiní příslušná opatření – zastavení nebo zpomalení nebezpečných pohybů zařízení. [22] [25] [27] [28]

Na trhu jsou tyto prvky dostupné v mnoha různých velikostech i dosazích paprsků. Je možné je použít jak ve vertikální, tak horizontální poloze. Ve vertikální poloze slouží jako zabezpečení vstupu do určitého prostoru, naopak v horizontální poloze mohou trvale monitorovat přítomnost člověka v daném prostoru.

7.4.5 Bezpečnostní laserový skener

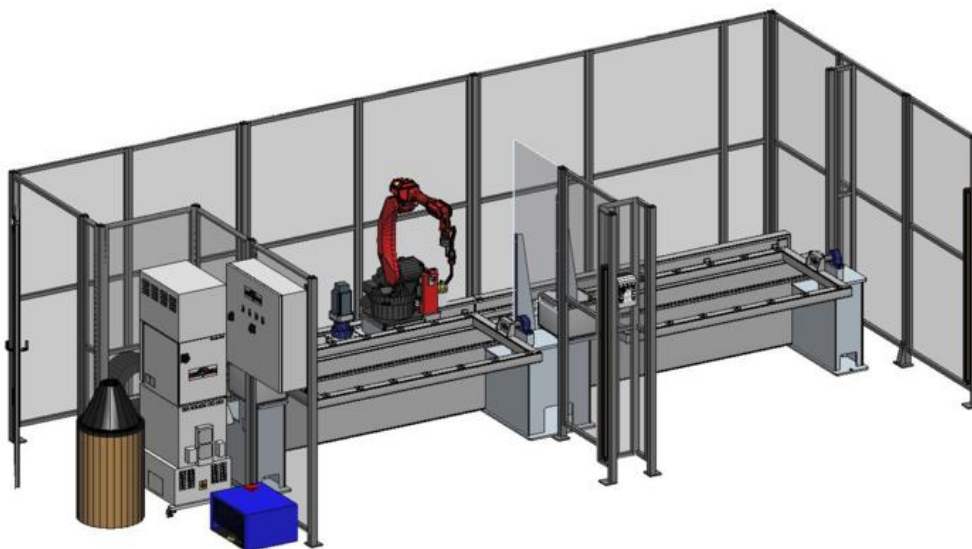
Pro zjištění přítomnosti osoby v pracovním prostoru se mohou využívat také bezpečnostní laserové skenery, které fungují na principu měření doby letu světelného impulzu. Laserový skener dokáže monitorovat pole, které má obvykle tvar rozevřeného vějíře. Při neobvyklém pohybu v oblasti ochranného pole skener vyšle impuls řídicímu systému, který zastaví, nebo zpomalí chod stroje. [22] [26]

7.4.6 Nášlapné rohože

Nášlapné rohože fungují na principu tlakového čidla integrovaného v bezpečnostní rohoži, při našlápnutí toto čidlo vyšle signál. Lze je použít v případech, kdy mohou být jiné druhy ochrany nepraktické, nedostatečné či nepoužitelné. [22]

8 NAVRHOVANÉ PRACOVISTĚ

V této části se práce bude zabývat samotným návrhem svařovacího pracoviště, který má vzniknout v souladu se zadanými parametry. Jedná se o pracoviště s jedním šestiosým robotem umístěným na lineární pojezdové dráze. Robot může po dráze přejíždět mezi dvěma prostory, které jsou od sebe odděleny neprůhlednou stěnou. Účelem tohoto rozložení je možnost vyjmutí, respektive umístění nového výrobku do pracovní pozice v jedné části pracoviště za současného svařování jiného výrobku v části druhé. Při tomto uspořádání je možné provádět souběžně dvě operace, což vede k větší produktivitě výroby. Příklad takového pracoviště je zobrazen na Obr. 8.1.



Obr. 8.1 Svařovací pracoviště od firmy Valk Welding [33]

V případě tohoto uspořádání jsou typickými svařovanými díly rozměrnější objekty s dlouhými svary, v jejichž případě lze plně využít pojezdové dráhy svařovacího robota. Konkrétními příklady mohou být nosné ocelové konstrukce, ramena bagrů, případně bočnice vlaků.

8.1 ZADANÉ PARAMETRY PRACOVISTĚ

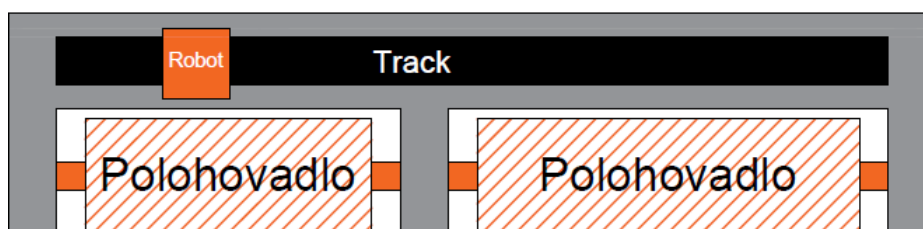
Cílem práce je navrhnout pracoviště, které bude modulární ve smyslu různých zatížení, velikostí robota, maximálních protočných průměrů a maximální délky svařovacího přípravku, který lze do pracoviště integrovat. Pracoviště je třeba navrhnout

s ohledem na bezpečnost, ergonomii a náklady. Zadané parametry jsou uvedeny v Tab. 8.1.

Tab. 8.1 Zadané parametry pracoviště

Parametry pracoviště	
Počet robotů v systému	1
Počet polohovadel v systému	2
Typ polohovadel	Natáčení kolem horizontální osy
Nosnost polohovadla	600, 1000, 2000, 5000 kg
Protočný průměr přípravku	1000, 1200, 1500, 2000 mm
Minimální délka přípravku	2000 mm
Maximální délka přípravku	5000 mm

Součástí práce je návrh samotného E-rámu, který slouží k upevnění pojezdové dráhy robota a dvou polohovadel pro uchycení svařovacích přípravků. Název rámu vychází z jeho tvaru, který připomíná písmeno E a je zjednodušeně znázorněn šedou barvou na Obr. 8.2. Je třeba vyřešit požadavek modularity výše zmíněných parametrů. Protočným průměrem je myšlený průměr rotační obálky svařovacího přípravku. Z těchto požadavků plyne nutnost zvážit různé varianty řešení.



Obr. 8.2 Zjednodušené zobrazení E-rámu

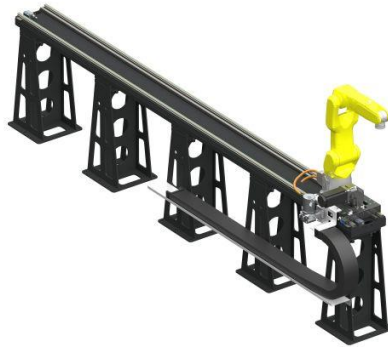
8.2 VARIANTY ŘEŠENÍ DÉLKY RÁMU

S měnícími se délkami svařovacích přípravků je nutné měnit i délku samotného rámu. Pro tento účel jsou uvažovány následující varianty řešení.

A. Použití podstavců pod pojezdovou dráhou robota

Pojezdová dráha je složena z množství stejně dlouhých metrových dílů, jejichž počet určuje celkovou délku pojezdu. Řešením pro modularitu délky rámu by tedy mohlo být použití podstavce pod každým úsekem pojezdové dráhy, jak je zobrazeno na Obr. 8.3. Výhodou tohoto řešení je velká variabilita v případě délky pojezdové dráhy.

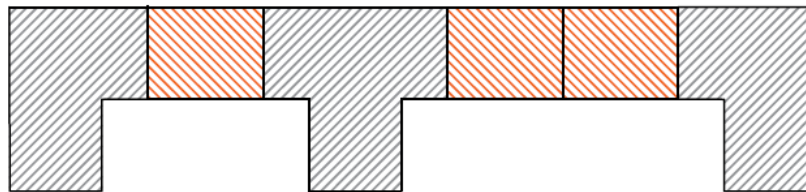
Nevýhodami jsou velký počet dílů, celková složitost montáže rámu a nutnost úplného zakotvení během předinstalace pracoviště ve výrobním závodě.



Obr. 8.3 Rám složený z podstavců [34]

B. Použití dílců pro nastavení délky pod pojezdovou dráhou

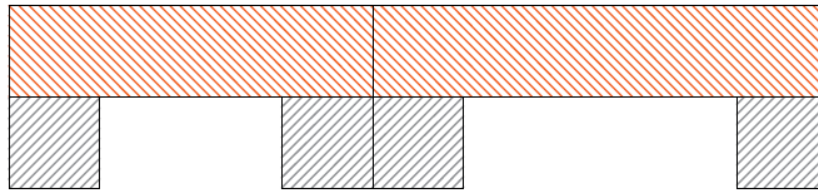
Další možností řešení modularity je použití dílců, které by nastavovaly délku rámu pod pojezdovou dráhou pro zadané délky přípravků. Tato varianta je znázorněna na Obr. 8.4. Rám by se skládal z dvou krajních částí a jedné prostřední (zobrazeny šedou barvou), mezi prostřední část a dvě části krajní by byly vkládány v prostoru pod pojezdovou dráhou dílce určité délky (oranžová barva), jejichž počet by určoval výslednou délku rámu. Výhodou řešení je opět vysoká variabilita, nevýhodou veliký počet dílů, složitost řešení z hlediska montáže a veliký počet požadovaných přesných spojení, což vede k vysokým nákladům.



Obr. 8.4 Řešení rámu pomocí nastavných dílců

C. Použití dvou částí rámu s variabilní délkou

V případě této varianty se rám pod pojezdovou dráhou skládá ze dvou částí různých či stejných délek, kdy každá část rámu má délku odpovídající příslušnému polohovadlu, jak je zobrazeno na Obr. 8.5. Výhodou této varianty je malý počet dílů, a tedy jednoduchá montáž rámu. Toto provedení je při použití normalizovaných profilů také finančně výhodné.



Obr. 8.5 Rám složený ze dvou hlavních částí

8.3 VARIANTY ŘEŠENÍ RŮZNÝCH PROTOČNÝCH PRŮMĚRŮ

Pro různé protočné průměry svařovacích přípravků je nutné zajistit odpovídající vzdálenost osy polohovadla od rámu s pojezdovou dráhou robota tak, aby nedošlo ke kolizi při otáčení svařovacího přípravku. Dosáhnout změny vzdálenosti osy od rámu lze několika způsoby.

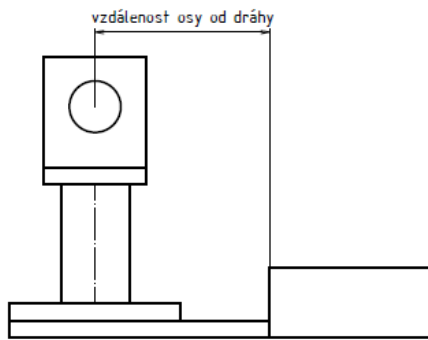
A. Změna polohy podstavce

Pokud je uvažováno řešení, kdy jsou koník a převodová jednotka polohovadla umístěny na podstavci, je možné měnit vzdálenost osy polohovadla pomocí změny vzdálenosti podstavce od rámu s pojezdovou dráhou, jak je zobrazeno na Obr. 8.6. Toto řešení je jednoduché a podstavec je v tomto případě kolmo k podstavě, což je příznivé pro jeho namáhání, nevýhodou však jsou větší rozměry rámu, které jsou způsobeny zvětšující se vzdáleností podstavce od pojezdové dráhy. Větší rozměry vedou k problematické přepravě rámu.

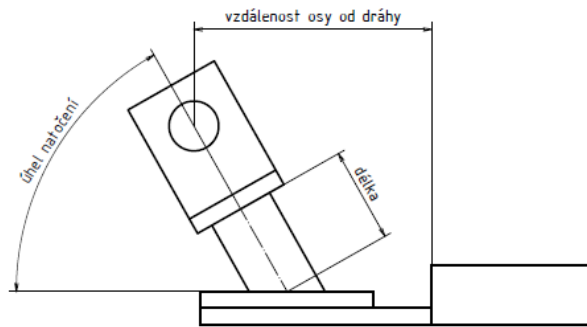
B. Změna délky a naklonění podstavce

Pokud bude podstavec umístěn tak, aby s podstavou svíral určitý úhel, je možné upravovat vzdálenost osy polohovadla od pojezdové dráhy změnou délky podstavce a úhlu, který svírá s podstavou, jak je zobrazeno na Obr. 8.7. Toto řešení způsobuje větší namáhání podstavce, ale je prostorově úspornější.

Jedním z důležitých požadavků na konstrukci rámu je snadná možnost přepravy a montáže. Rám je nejprve firmou ABB sestaven v testovacím centru, kdy jsou na něm prováděny finální kontroly a následně je dopraven k zákazníkovi. Z toho důvodu je důležitým aspektem konstrukce snadná demontáž a následná přeprava, kdy jednotlivé přepravované části rámu nesmí přesahovat rozměrové limity pro přepravu nákladním automobilem.



Obr. 8.6 Řešení s podstavcem kolmým na podstavu



Obr. 8.7 Řešení s podstavcem pod úhlem

S přihlédnutím k výše zmíněným požadavkům byla pro řešení variability délky rámu vybrána varianta C (kapitola 8.2), tedy rám složený ze dvou částí, především z důvodu snadné demontáže a následné přepravy. Z hlediska různých protočných průměrů byla pro kompaktnější rozměry vybrána varianta B, tedy řešení pomocí proměnlivé délky a úhlu natočení podstavce.

Různé požadované hodnoty nosností polohovadel budou ovlivňovat rozměry podstavců, podrobněji bude téma rozebráno v samotném řešení konstrukce.

9 ŘEŠENÍ KONSTRUKCE RÁMU

Na návrh konstrukce rámu je zaměřena následující kapitola. U rámu je třeba splnit již zmíněné požadavky modularity od firmy ABB a zároveň navrhnout optimální řešení z hlediska ceny konstrukce, montáže, přepravy a prostorového uspořádání v rámci pracoviště.

V rámci práce je zhotovena konstrukce pouze pro tyto hodnoty rámu:

- Nosnost polohovadel: 5000 kg
- Délka svařovacích přípravků: 4000 mm
- Maximální protočné průměry svařovacích přípravků: 1500 mm

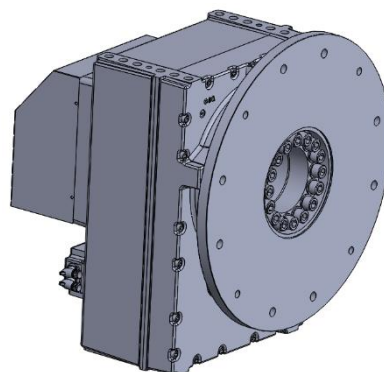
Postup změny rozměrů rámu pro ostatní požadované parametry je uveden v kapitole zabývající se variabilitou rámu, 3D model je však vytvořen pouze pro výše zmíněné vybrané hodnoty.

9.1 POUŽITÉ KOMPONENTY

Pro výsledné pracoviště je třeba kromě návržení konstrukce rámu také vybrat vhodné komponenty pro zadané parametry. Jedná se především o převodovou jednotku polohovadla, pojezdovou dráhu robota a samotného svařovacího robota.

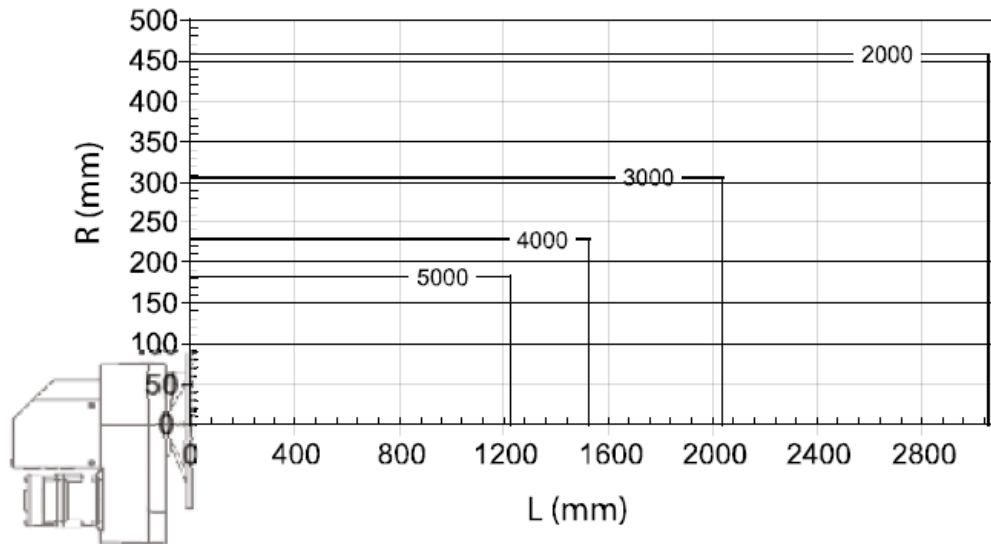
9.1.1 Převodová jednotka

Převodová jednotka zajišťuje rotaci svařovacího přípravku a její velikost se odvíjí od požadované nosnosti polohovadla. V tomto případě budou použity jednotky MTD od firmy ABB s nosností od 600 kg do 5000 kg a kroutícími momenty od 650 do 9000 N.m. Na Obr. 9.1 je zobrazena jednotka MTD 5000.



Obr. 9.1 Převodová jednotka MTD 5000 s přírubou [39]

U každé konkrétní aplikace je třeba zkontrolovat použitelnost převodové jednotky v závislosti na hmotnosti svařence a vzdálenosti jeho těžiště od rotační osy polohovadla. Při této kontrole je používán zatěžovací diagram převodové jednotky, který je uveden v katalogu výrobce. Příklad zatěžovacího diagramu pro jednotku MTD 5000 je zobrazen na Obr. 9.2.

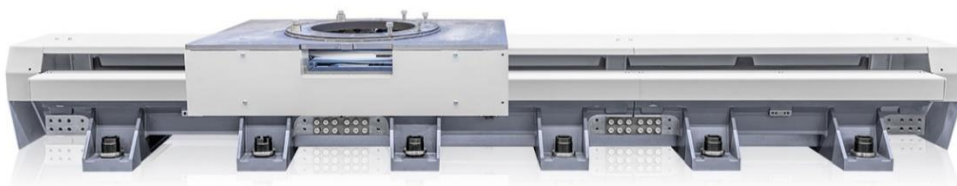


Obr. 9.2 Zatěžovací diagram jednotky MTD 5000 [37]

Na vertikální ose je zobrazena povolená vzdálenost těžiště od rotační osy polohovadla, na horizontální ose povolená vzdálenost těžiště od převodové jednotky. V provedení polohovadla s koníkem je ohybový moment v převodové jednotce nulový, v tomto případě tedy není nutné řešit horizontální osu diagramu a je kontrolována pouze vzdálenost těžiště svařence od osy rotace polohovadla. U dlouhých přípravků je ale při kontrole třeba vzít v potaz možnost momentu od průhybu přípravku.

9.1.2 Pojezdová dráha

Pojezdová dráha slouží jako sedmá osa svařovacího robota a v případě pracoviště s E-rámem slouží i jako propojení dvou oddělených pracovních prostorů. V tomto případě byla vybrána dráha IRBT 2005 od firmy ABB, která je kompatibilní s množstvím různých



Obr. 9.3 Pojezdová dráha IRBT 2005 [35]

modelů svařovacích robotů. Dráha je složena z dílů o délce 1 metr, úpravou jejich počtu lze dosáhnout požadované celkové délky. Dráha IRBT 2005 je zobrazena na Obr. 9.3.

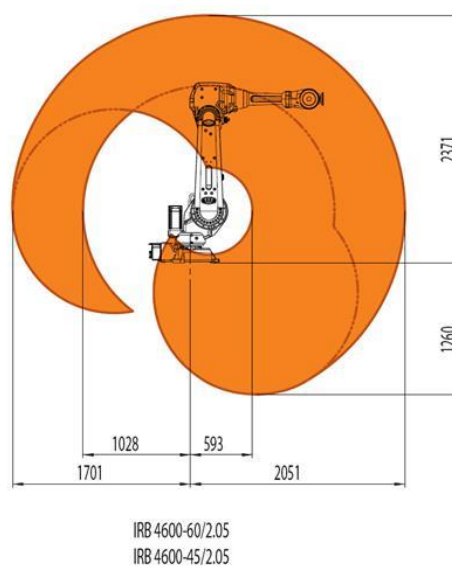
9.1.3 Svařovací robot

U vybraného svařovacího robota je nutná kompatibilita s pojezdovou dráhou. Pro dráhu IRBT 2005 je možné použít roboty vypsané v Tab. 9.1. Výběr robota je třeba provádět podle požadovaného protočného průměru přípravku pro zajištění dostatečného dosahu při svařování.

Tab. 9.1 Použitelné roboty [35]

Použitelné roboty		
Model	Dosah [mm]	Nosnost [kg]
IRB 1520ID	1500	4
IRB 1600	1200/1450	6/10
IRB 1660 ID	1550	6
IRB 2600	1650/1850	12/20
IRB 2600ID	1850/2000	8/15
IRB 4600	2050/2510/2550	20/40/45/60

Pro každou aplikaci svařovacího robota je třeba kontrolovat, zda je jeho dosah dostatečně veliký pro použitou velikost rotační obálky polohovadla. K tomuto ověření slouží nákresy pracovního prostoru robota. Příklad znázornění pracovního prostoru pro model IRB 4600 je uveden na Obr. 9.4.



Obr. 9.4 Pracovní prostor robota IRB 4600 [36]

9.2 KONSTRUKCE RÁMU

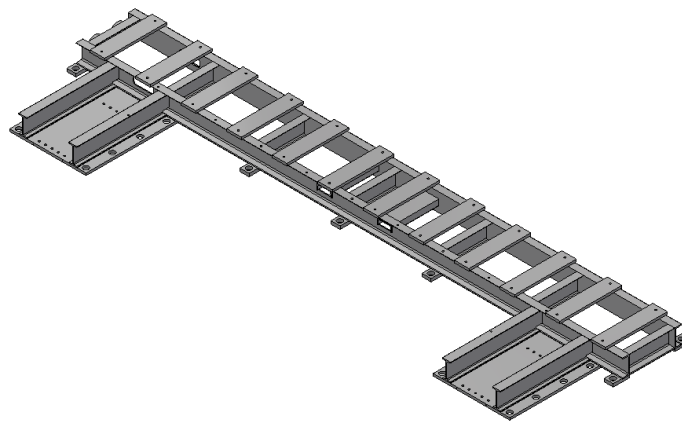
Pro konstrukci je z cenového hlediska výhodné využít co nejvíce dostupných normalizovaných profilů či plechů. Samotnou konstrukci lze v případě tohoto návrhu rozdělit na 2 základní části:

- Svařovaný rám
- Svařovaný podstavec převodových jednotek a koníků

9.2.1 Svařovaný rám

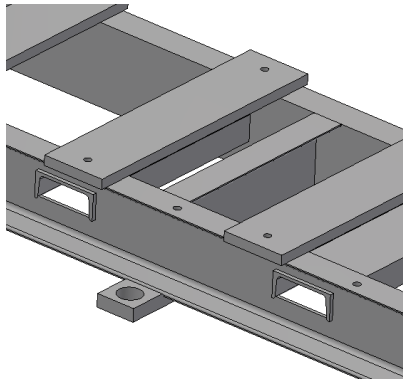
Základní konstrukce rámu je svařencem normalizovaných profilů a plechů. Podélná část rámu je tvořena dvěma profily U-200, které jsou spojeny napříč umístěnými kratšími profily v rozstupech jednoho metru. Rám je dále doplněn o plechy, které slouží k uchycení pojezdové dráhy a o nožky pro ukotvení rámu do země. Rám je do země ukotven pomocí nivelačních šroubů, které umožňují vyrovnávání nerovností podloží.

Z boku rámu je dále přivařen základ pro podstavce převodových jednotek a koníků. Tento základ je tvořen plechem, který je zpevněn dvěma profily I-200. Celý svařenec je zobrazen na Obr. 9.5. Šířka základového plechu a vzdálenost I-profilů budou odlišné pro různé požadované nosnosti polohovadla. Z důvodu různých rozměrů převodových jednotek a koníků se budou pro různé nosnosti lišit také vzdálenosti dvou základových plechů pro podstavce.

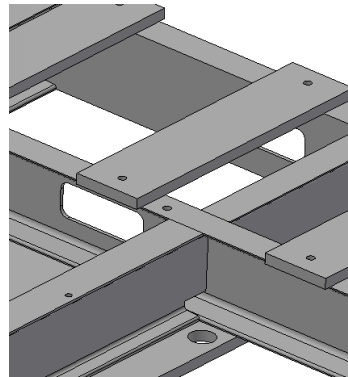


Obr. 9.5 Svařovaný rám se základy pro podstavce

Uprostřed rámu jsou pomocí dvou U profilů zhotoveny kapsy pro přepravu pomocí vysokozdvížného vozíku. U základového plechu převodové jednotky jsou dále v podélných U-profilech rámu otvory pro vedení kabelů z jednotky. Tyto prvky jsou zobrazeny na Obr. 9.6 a Obr. 9.7.



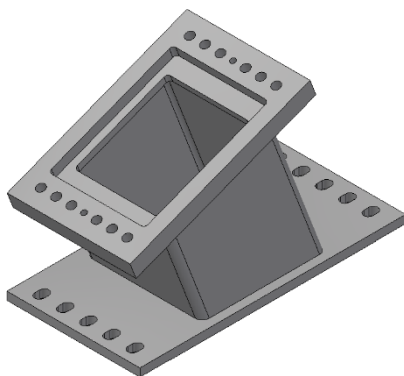
Obr. 9.6 Kapsy pro transport



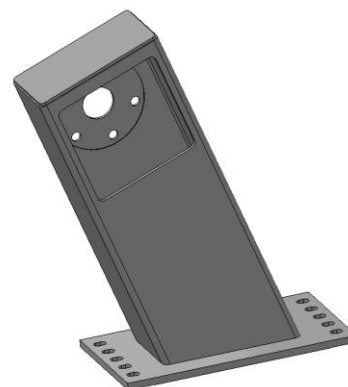
Obr. 9.7 Otvory pro vedení kabelů

9.2.2 Svařovaný podstavec převodových jednotek a koníků

Druhou částí rámu jsou podstavce převodových jednotek a koníků. U převodových jednotek jsou tvořeny dvěma plechy a uzavřeným čtvercovým profilem. Pro koník je použit uzavřený obdélníkový profil. Rozměry použitých profilů se budou lišit pro různé požadované nosnosti polohovadla. Spodní plech podstavce bude mít odlišnou šířku pro různé požadované nosnosti, délka zůstává stejná (šířkou je myšlen kratší rozměr obdélníkového plechu, délkou delší rozměr). Oba podstavce jsou zobrazeny na Obr. 9.8 a Obr. 9.9.



Obr. 9.8 Podstavec převodové jednotky

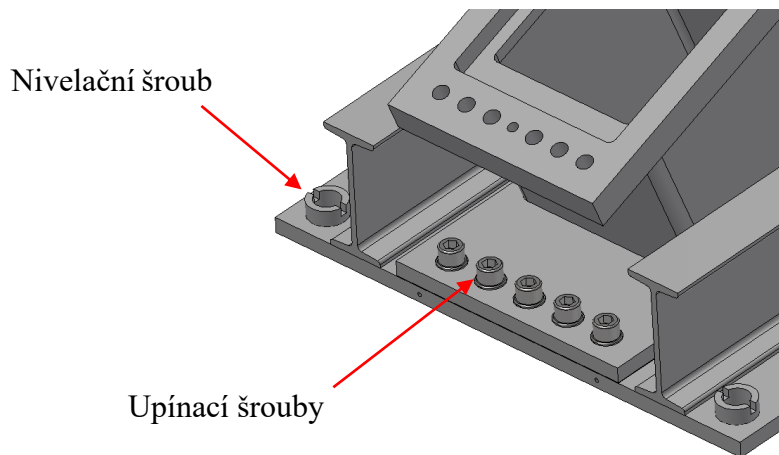


Obr. 9.9 Podstavec koníku

9.3 SPOJENÍ ČÁSTÍ RÁMU

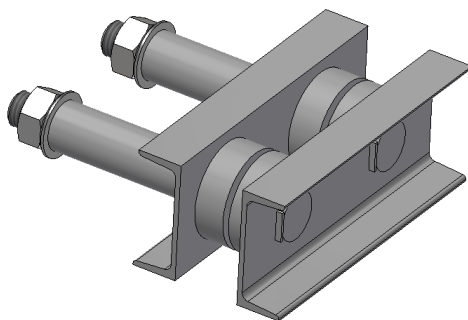
Spojením dvou svařovaných rámu a čtyř podstavců vznikne kompletní rám pro svařovací pracoviště. Podstavce jsou ke svařnému rámu připevněny pomocí upínacích šroubů, jak je zobrazeno na Obr. 9.10. Díry pro šrouby jsou oválné, aby bylo

možné seřídit polohu podstavce pro zajištění souososti. Mezi podstavec a plech budou dále vloženy broušené pásnice pro seřízení souososti ve vertikálním směru.

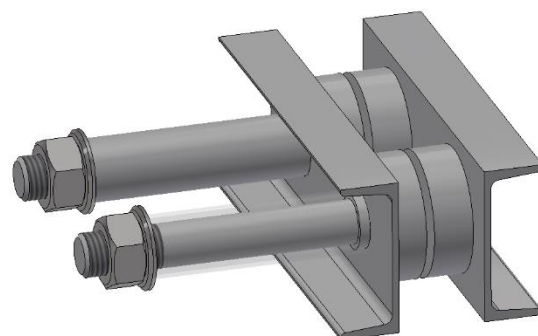


Obr. 9.10 Přišroubování podstavce k základu

Spojení dvou hlavních částí rámu je řešeno pomocí svěrného spoje. Na Obr. 9.11 jsou zobrazeny pouze sousední příčné profily obou částí rámu a spojovací součásti. Spojení profilů pomocí přesných děr určuje pozici rámu jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru. Díky předpětí ve spoji budou obě části rámu pevně spojeny. Matice působí axiální silou přes distanční trubku, která je na Obr. 9.12 pro přehlednost zobrazena transparentně. Pro zamezení protáčení svorníku je na jeho hlavě vyfrézovaná plocha, která dosedá na kus plechu navařený na jeden z profilů. Mezi oběma profily je navařena přídatná vrstva materiálu pro zajištění většího vedení děr.

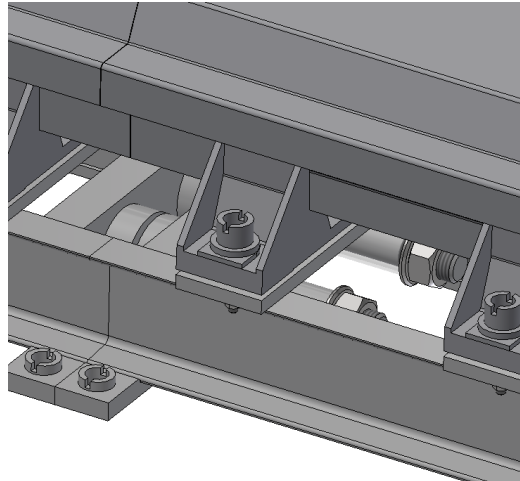


Obr. 9.11 Svěrný spoj



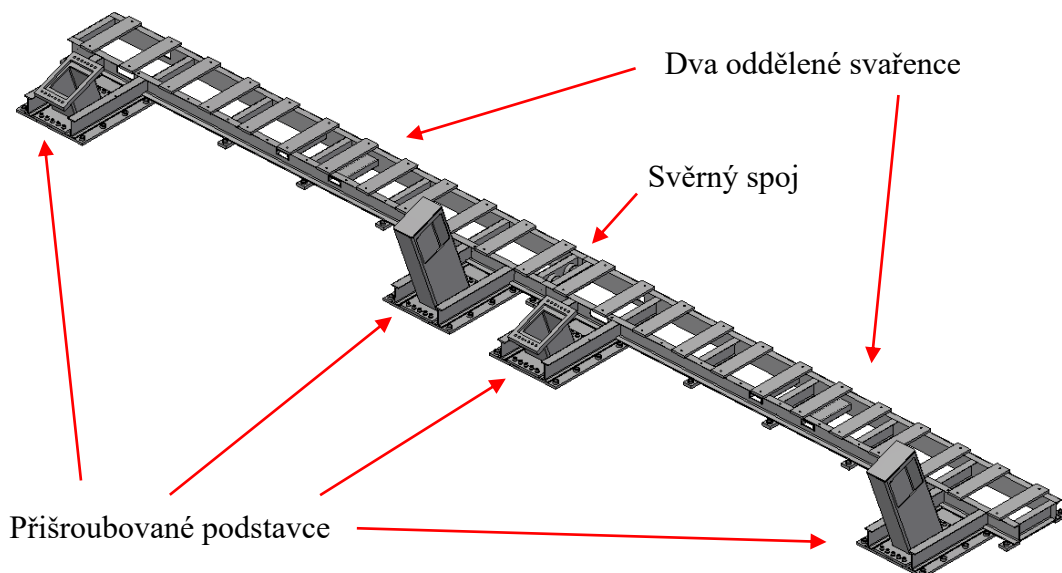
Obr. 9.12 Zobrazení s transparentní trubkou

Spojení dvou částí rámu probíhá až po montáži pojezdové dráhy na obě části, z toho důvodu je pro zajištění přístupu k matici volena větší délka svorníku. Detail svorníku v rámci rámu je zobrazen na Obr. 9.13.



Obr. 9.13 Detail rámu v místě svěrného spoje

Kompletně sestavený rám je zobrazen na Obr. 9.14.



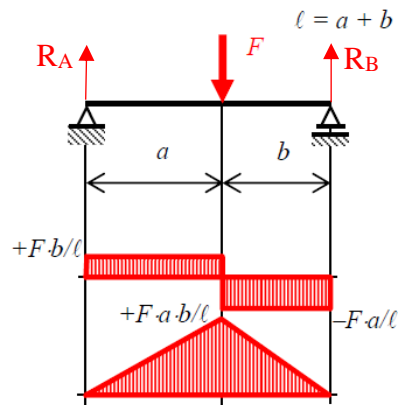
Obr. 9.14 Kompletní konstrukce rámu

9.4 NÁVRH KONÍKU

Návrh koníku bude v rámci práce proveden pouze pro variantu rámu s nosností polohovadel 5000 kg.

Při návrhu koníku je možné uvažovat polohovadlo jako určitý nosník s dvěma podpěrami, kdy převodová jednotka přenáší axiální i radiální síly a koník pouze síly radiální. Namáhání takového nosníku je zobrazeno na Obr. 9.15. Nosník je zatížen maximálním přípustným zatížením převodové jednotky a jsou vypočteny reakce.

Je důležité si uvědomit, že poloha zatěžující síly se může měnit s různými aplikacemi polohovadla, je tedy nutné pro návrh koníku počítat s nejnepříznivější variantou.



Obr. 9.15 Nosník odpovídající polohovadlu [38]

Pro radiální zatížení koníku bude platit rovnice:

$$R_B = F \cdot \frac{a}{a + b} \text{ [N]} \quad (9.1)$$

Kde:

$R_B \text{ [N]}$	radiální zatížení koníku
$F \text{ [N]}$	tíhová síla svařence
$a \text{ [mm]}$	vzdálenost nositelky zatěžovací síly od převodové jednotky
$b \text{ [mm]}$	vzdálenost nositelky zatěžovací síly od koníku

Protože není možné přesně určit hodnotu nejmenší možné vzdálenosti těžiště svařence od koníku, bude koník dimenzován na zatížení celou silou F .

Reakce v koníku je tedy v nejhorším případě uvažována jako:

$$R_B = F = m \cdot g \text{ [N]} \quad (9.2)$$

Kde:

$m = 5000 \text{ kg}$	hmotnost svařence
$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$	gravitační zrychlení

Po dosazení:

$$R_B = 5000 \cdot 9,81 = 49\,050 \text{ N}$$

V koníku jsou umístěna dvě kuličková ložiska, jak je možné vidět na Obr. 9.16. Vzdálenost mezi těmito dvěma ložisky je velice malá, proto bude ve výpočtu zanedbán

reakční moment v koníku. Bude předpokládáno, že reakce v koníku se rovnoměrně rozloží do dvou ložisek, tedy na každé ložisko bude působit síla rovná polovině reakce v koníku.

Pro radiální zatížení ložisek je uvažována rovnice:

$$F_r = \frac{R_B}{2} [N] \quad (9.3)$$

Kde:

$F_r [N]$ radiální síla působící na kuličkové ložisko

Po dosazení:

$$F_r = \frac{49050}{2} = 24\,525\, N$$

Výběr velikosti ložiska lze provést na základě únavového života, či na základě velikosti statického zatížení. Pro případ velikých hodnot zatížení a malých otáček ložisek je vhodné použít metodu statického zatížení. Pro tento výpočet je třeba znát hodnotu ekvivalentního statického zatížení ložiska P_0 , která je pro čistě radiální zatížení rovna radiální zatěžující síle F_r . [29]

$$P_0 = F_r [kN] \quad (9.4)$$

$$P_0 = 24\,525\, N = 24,525\, kN$$

Kde:

$P_0 [kN]$ ekvivalentní statické zatížení ložiska

Velikost ložiska je následně určena na základě hodnoty základní statické únosnosti ložiska C_0 . Tu lze vypočítat ze vztahu:

$$C_0 = s_0 \cdot P_0 [kN] \quad (9.5)$$

Kde:

$C_0 [kN]$ základní statická únosnost ložiska

$s_0 = 2$ statický koeficient bezpečnosti ložiska

Po dosazení:

$$C_0 = 2 \cdot 24\,525 = 49\,050\, N = 49,05\, kN$$

Nejbližší vyšší hodnota C_0 nabízených ložisek je rovna 50 kN. Dle této hodnoty byla vybrána ložiska SKF 6018.

Koník i s přírubou v řezu je možné vidět na Obr. 9.16. Jako zajištění proti příliš velkému axiálnímu posunu slouží osazení na hřídeli z jedné strany a pojistný kroužek ze strany druhé. Přírubou je možné pohybovat o 15 mm v axiálním směru na obě strany, aby byla usnadněna montáž svařovacího přípravku, případně umožněna kompenzace nepřesností výroby rámu v axiálním směru.

A technical cross-sectional drawing of a shaft assembly. The shaft is supported by two bearings. On the right side, a flange is mounted. The drawing shows various components like bolts, nuts, and washers. In the center-right part, there are force vectors: two upward arrows labeled F_R and one upward arrow labeled R_B . Below these arrows, there are two horizontal dimension lines, each labeled '24,5', indicating the distance between the points of application of the forces.

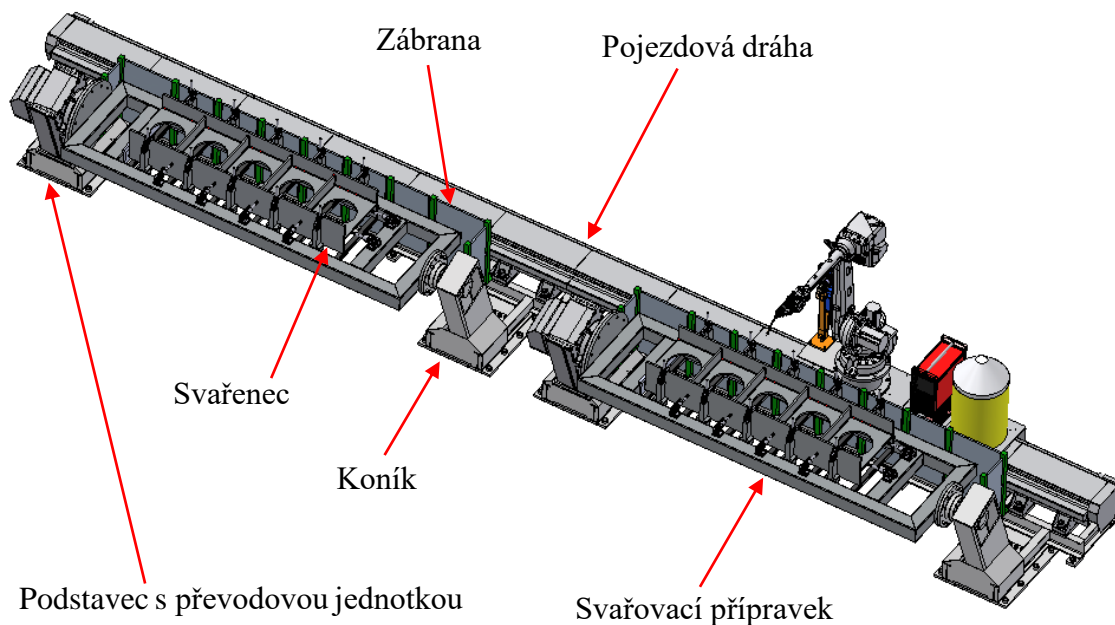
Obr. 9.16 Uložení příruby koníku

Návrh svařovacího robotického pracoviště

45

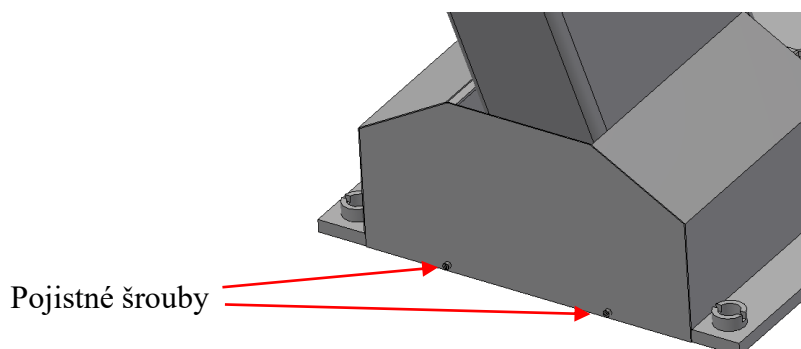
9.5 KOMPLETNÍ RÁM

Po sestavení samotné konstrukce rámu je možné provést montáž všech použitých komponent. Jedná se o převodové jednotky, svařovací přípravky, pojezdovou dráhu, uložení ložisek koníku a příruby koníků. Důležitou součástí rámu je také zábrana, která odděluje prostor svařovacího přípravku od pojezdové dráhy a slouží k zamezení možnosti vniku osoby do prostoru pojezdové dráhy. Navržená zábrana se skládá ze sloupků a jednotlivých panelů, sloupky a některé panely se odlišují od nabízených rozměrů, bylo by je tedy třeba od výrobce objednat na zakázku. Mezi příruba převodové jednotky a koníku je pomocí šroubů a kolíků připojen svařovací přípravek, který slouží k uchycení svařence. Na Obr. 9.17 je zobrazen celý rám po montáži všech komponent.



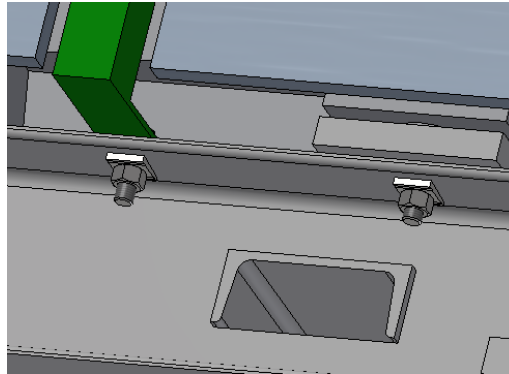
Obr. 9.17 Rám po montáži všech komponent

Základy podstavců jsou zakryty svařenci 3 plechů, pro montáž je možné je jednoduše nasunout na 2 I-profilů. Na místě jsou pojištěny pomocí 2 šroubů, jak je možné vidět na Obr. 9.18.



Obr. 9.18 Kryt podstavce

K rámu jsou pojezdová dráha a zábrana připevněny pomocí šroubových spojů s vyrovnávacími podložkami DIN 434, jak je zobrazeno na Obr. 9.19.

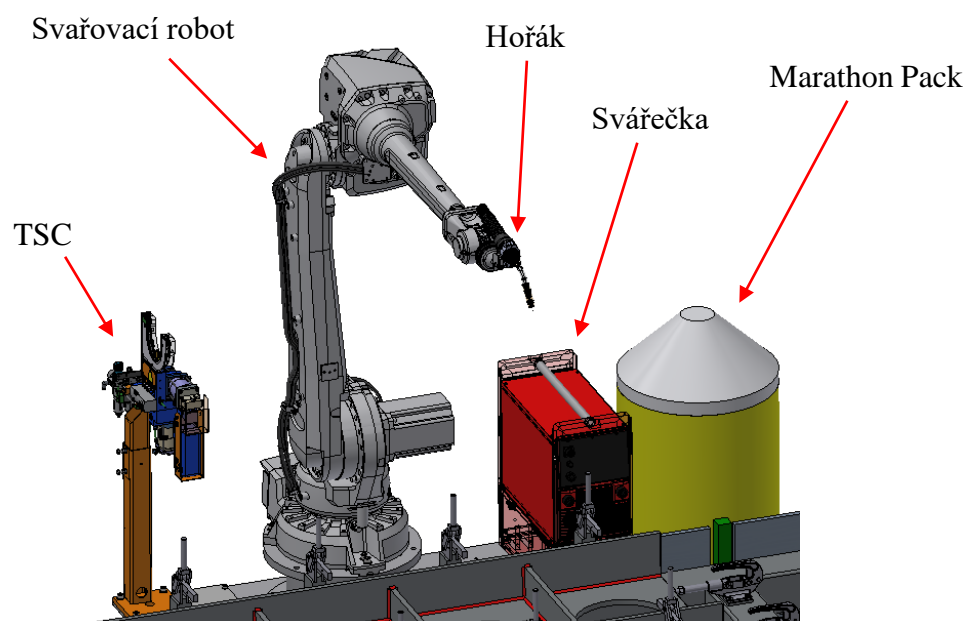


Obr. 9.19 Spojení zábrany a pojezdové dráhy s rámem

Na pojezdovou dráhu jsou dále umístěny následující komponenty:

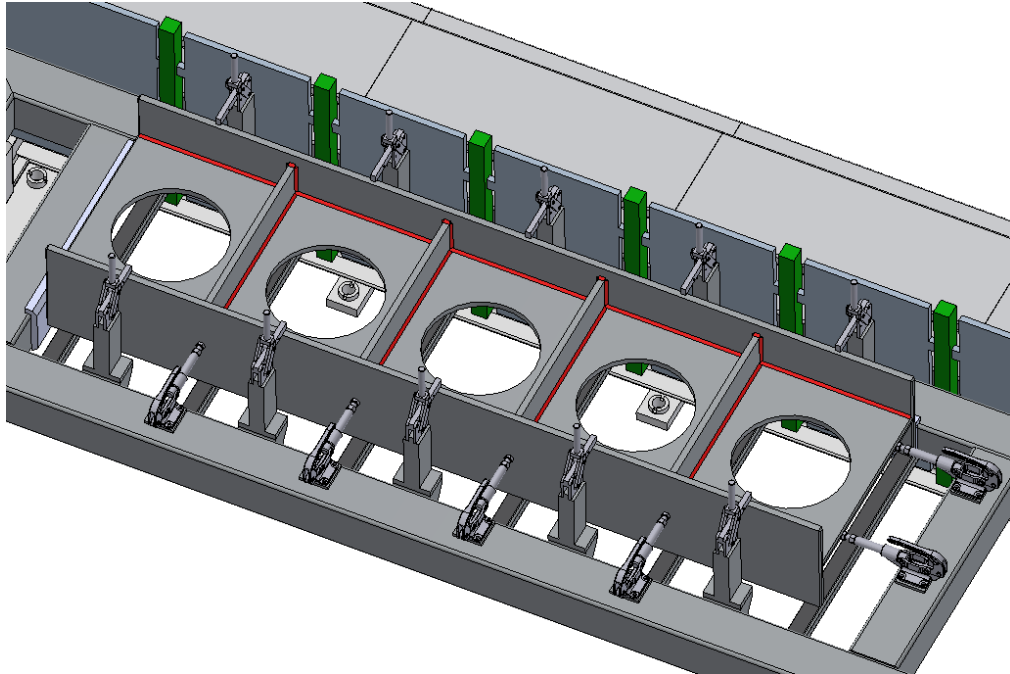
- Svařovací robot na podstavci – podstavec má výšku 250 mm a slouží k vyzvednutí základny svařovacího robota z důvodu nižší konstrukce rámu
- ABB TSC (Torch Service Center) – slouží pro úpravu a údržbu svařovacího hořáku, zastříhávání svařovacího drátu a kalibraci
- Svářečka – model závisí na zákazníkovi, který si pracoviště objedná
- Marathon pack – zásobárna svařovacího drátu

Všechny tyto komponenty se pohybují na vozíku pojezdové dráhy společně se svařovacím robotem a jsou zobrazeny na Obr. 9.20.



Obr. 9.20 Komponenty na pojezdové dráze

Jako příklad svařence je v modelu použita část mostové konstrukce, která je ve svařovacím přípravku uchycena pomocí dorazů a upínek, jak je zobrazeno na Obr. 9.21.



Obr. 9.21 Uchycení svařence v přípravku

10 VARIABILITA RÁMU

Variabilitu rámu je třeba řešit v několika ohledech, je tedy třeba zmínit, jaké rozměry rámu bude každý parametr ovlivňovat.

Různá zatížení – ovlivňují nosnost převodové jednotky, velikost potřebných ložisek v koníku polohovadla, velikost podstavce pod převodovou jednotkou (resp. podstavce koníku), velikost základového plechu svařence rámu a vzdálenost výstužných I-profilů, vzdálenost podstavců převodové jednotky a koníku od okrajů rámu

Různé délky svařovacích přípravků – ovlivňují délku rámu a pojezdové dráhy

Různé protočné průměry přípravků – ovlivňují minimální potřebnou vzdálenost rotační osy polohovadla od pojezdové dráhy, potřebný dosah používaného svařovacího robota (používané roboty mohou využívat stejnou pojezdovou dráhu, konstrukce rámu pod dráhou tedy nebude ovlivněna)

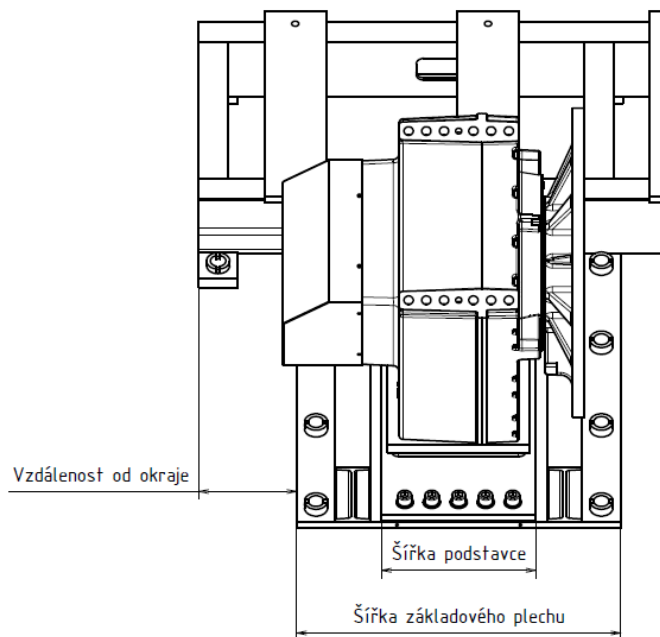
10.1 NOSNOST

Pro různé nosnosti jsou použity příslušné převodové jednotky a jim odpovídající podstavce s různými uzavřenými profily. V Tab. 10.1 jsou uvedeny převodové jednotky s příslušnými čtvercovými profily použitými pro konstrukci podstavce.

Tab. 10.1 Zvolený profil v závislosti na nosnosti a kroutícím momentu

Převodová jednotka	Nosnost [kg]	Kroutící moment [N.m]	Čtvercový profil [mm]
MTD 5000	5000	9000	350x350x12,5
MTD 2000	2000	3800	250x250x10
MTD 750	1000	900	200x200x8
MTD 500	600	650	200x200x8

Pro rozdílné nosnosti se bude měnit šířka základového plechu, šířka podstavce a vzdálenost základového plechu od okraje rámu. Rozměry jsou vyznačeny na Obr. 10.1 a hodnoty příslušící jednotlivým nosnostem jsou vypsány v Tab. 10.2. S měnicí se šířkou základového plechu se stejným způsobem mění i vzdálenost mezi I-profilů. Vzdálenosti od okraje rámu byly voleny tak, aby byl vždy střed svařovacího přípravku uprostřed délky příslušného rámu.



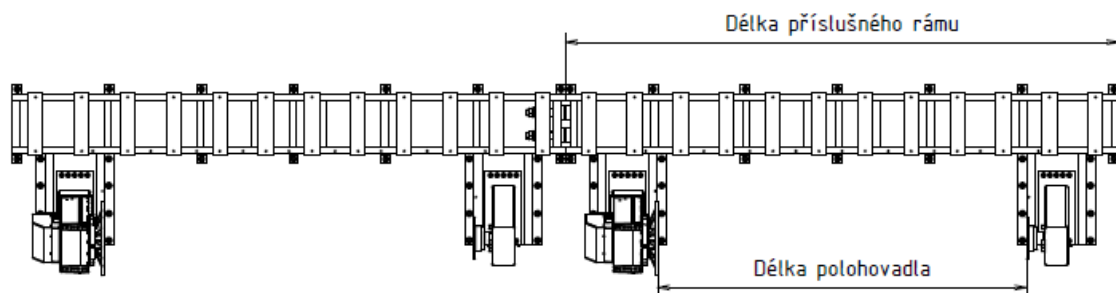
Obr. 10.1 Rozměry měnící se pro různé nosnosti

Tab. 10.2 Hodnoty rozměrů pro různé nosnosti

Nosnost [kg]	Šířka podstavce [mm]	Šířka základového plechu [mm]	Vzdálenost od okraje [mm]
5000	400	840	254
2000	300	740	400,5
1000	250	690	481
600	250	690	481

10.2 DÉLKA

Rám je složen ze dvou částí, z nichž každá náleží jednomu polohovadlu, jak je zobrazeno na Obr. 10.2. Délka jedné části rámu je tedy vždy určena zvolenou délkou příslušného polohovadla.



Obr. 10.2 Délky částí rámu a polohovadel

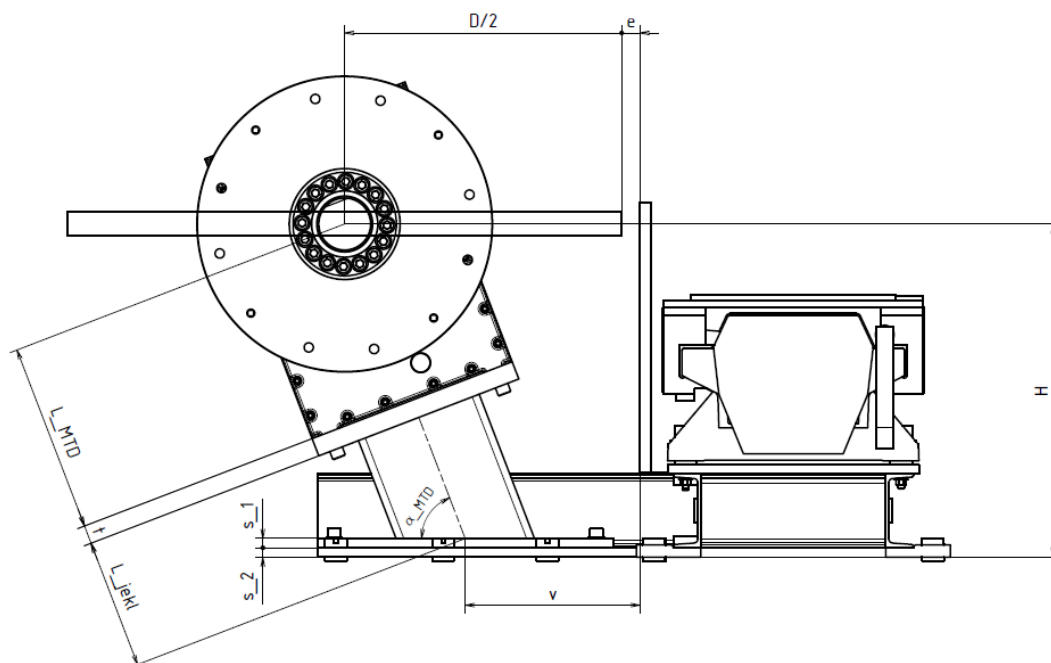
V prostřední části rámu je třeba ponechat mezi převodovou jednotkou a koníkem místo pro zábranu oddělující 2 pracovní prostory. Dále je nutné, aby bylo možné na rám umístit pojezdovou dráhu, která se skládá z dílů dlouhých 1 metr. Z toho důvodu je výhodné, aby délka každé části rámu byla násobkem celých metrů. Vzhledem k těmto požadavkům bylo určeno, že délka rámu bude vždy o dva metry větší než délka příslušného polohovadla. Tím bude dosaženo dostatečné mezery mezi převodovou jednotkou a koníkem mezi dvěma pracovními prostory i zajištěna montáž pojezdové dráhy. Zvolené délky jsou zobrazeny v Tab. 10.3.

Tab. 10.3 Zvolené délky rámu

Délka polohovadla [mm]	Délka příslušného rámu [mm]
2000	4000
3000	5000
4000	6000
5000	7000

10.3 PROTOČNÝ PRŮMĚR

Pro měnící se protočný průměr bylo zvoleno řešení různých délek a úhlů natočení podstavce. Ideální výška H osy polohovadla je z hlediska pohodlí operátora 900 mm, byla tedy použita pro všechny protočné průměry s výjimkou 2000 mm, kde bylo nutné pro zabránění kolize přípravku se zemí zvolit výšku 1050 mm. Určující rozměry pro výpočet jsou zobrazeny na Obr. 10.3.



Obr. 10.3 Skica určujících rozměrů podstavce

Výšky převodových jednotek a příslušné tloušťky upínacích plechů jsou vypsány v Tab. 10.4:

Tab. 10.4 Výpočtové rozměry převodových jednotek

	L_MTD [mm]	t [mm]
MTD 5000	510	50
MTD 2000	402	40
MTD 750	350	35
MTD 500	350	35

Pro protočný průměr 2000 mm byl zvolen úhel 60 stupňů a vypočítána vzdálenost v podstavce od pojezdové dráhy pomocí vztahů:

$$L_{jekl} = \frac{H - s_1 - s_2}{\sin(\alpha_{MTD})} - L_{MTD} - t \text{ [mm]} \quad (10.1)$$

$$v = \frac{D}{2} + e - (L_{jekl} + t + L_{MTD}) \cdot \cos(\alpha_{MTD}) \text{ [mm]} \quad (10.2)$$

Kde:

v [mm]	vzdálenost středu podstavce od zábrany podél pojezdové dráhy
L_{jekl} [mm]	osová délka uzavřeného profilu
$L_{MTD} = 510$ mm	vzdálenost rotační osy převodové jednotky od její základní roviny
$t = 50$ mm	tloušťka upínacího plechu podstavce
$D = 2000$ mm	maximální použitelný protočný průměr polohovadla
$e = 50$ mm	vůle mezi svařovacím přípravkem a zábranou
$s_1 = 25$ mm	tloušťka spodního plechu podstavce
$s_2 = 25$ mm	tloušťka základového plechu rámu
$H = 1050$ mm	vzdálenost osy polohovadla od země
$\alpha_{MTD} = 60^\circ$	úhel zkosení podstavce převodové jednotky

Po dosazení hodnot:

$$L_{jekl} = \frac{1050 - 25 - 25}{\sin(60)} - 510 - 50 = 594,7 \text{ mm}$$

$$v = \frac{2000}{2} + 50 - (594,7 + 50 + 510) \cdot \cos(60) = 472,65 \cong 473 \text{ mm}$$

Tato vzdálenost zůstane pro zachování kompatibility základu podstavce se všemi variantami protočných průměrů stejná a pomocí tohoto údaje je možné dopočítat následujícími vztahy požadované délky a úhly natočení pro zbývající protočné průměry:

$$\alpha_{MTD} = \operatorname{atan} \left(\frac{H - s_1 - s_2}{\frac{D}{2} + e - v} \right) [^\circ] \quad (10.3)$$

$$L_{jekl} = \frac{H - s_1 - s_2}{\sin(\alpha_{MTD})} - L_{MTD} - t [mm] \quad (10.4)$$

Příklad výpočtu pro $D = 1500$ mm a příslušné $H = 900$ mm:

$$\alpha_{MTD} = \operatorname{atan} \left(\frac{900 - 25 - 25}{\frac{1500}{2} + 50 - 473} \right) = 68,96^\circ \cong 69^\circ$$

$$L_{jekl} = \frac{900 - 25 - 25}{\sin(68,96)} - 510 - 50 = 350,73 \cong 351 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty pro jednotku MTD 5000 je uvedeny v Tab. 10.5.

Tab. 10.5 Výpočet pro MTD 5000

MTD 5000					
L_MTD [mm]	s_1 [mm]	s_2 [mm]	t [mm]	e [mm]	
510	25	25	50	50	
					zaokrouhlené
Protočný průměr [mm]	H [mm]	alfa [°]	L_jekl [mm]	alfa [°]	L_jekl [mm]
2000	1050	60,02	594,53	60	595
1500	900	68,96	350,73	69	351
1200	900	78,24	308,23	78	308
1000	900	84,82	293,48	85	293

Pro koník platí následující vztahy:

$$\alpha_{kon} = \operatorname{atan} \left(\frac{H - s_1 - s_2}{\frac{D}{2} + e - v} \right) [^\circ]$$

$$L_{kon} = \frac{H - s_1 - s_2}{\sin(\alpha_{kon})} + L_h [mm] \quad (10.5)$$

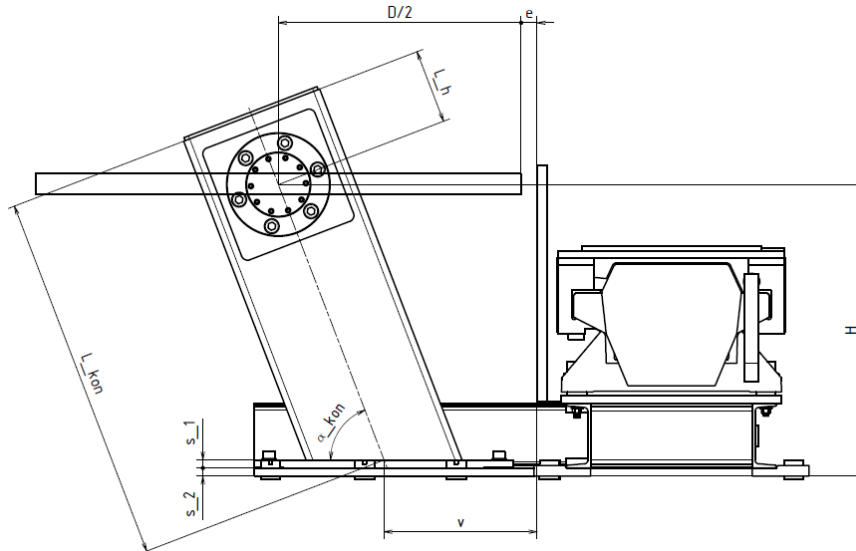
Kde:

$L_h = 230$ mm

vzdálenost osy polohovadla od horního okraje profilu
koníku

L_{kon} [mm] osová délka uzavřeného profilu koníku
 α_{kon} [°] úhel zkosení koníku

Výpočtové rozměry je jsou zobrazeny na Obr. 10.4:



Obr. 10.4 Návrhové rozměry koníku

Příklad výpočtu pro $D = 1500$ mm a $H = 900$ mm:

$$\alpha_{kon} = \text{atan} \left(\frac{900 - 25 - 25}{\frac{1500}{2} + 50 - 473} \right) = 68,96^\circ \cong 69^\circ$$

$$L_{kon} = \frac{900 - 25 - 25}{\sin(68,96)} + 230 = 1140,73 \text{ mm} \cong 1141 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty délek a naklopení koníku jsou uvedeny v Tab. 10.6:

Tab. 10.6 Vypočtené hodnoty pro koník

Koník					
L_h [mm]	s_1 [mm]	s_2 [mm]	e [mm]		
230	25	25	50		
				zaokrouhlené	
Protočný průměr [mm]	H [mm]	alfa [°]	L_kon [mm]	alfa [°]	L_kon [mm]
2000	1050	60,02	1384,53	60	1385
1500	900	68,96	1140,73	69	1141
1200	900	78,24	1098,23	78	1098
1000	900	84,82	1083,48	85	1083

11 KONTROLNÍ VÝPOČTY PODSTAVCE

U podstavců je třeba zkontrolovat tahové napětí šroubů v základně, redukované napětí ve svaru profilu se základovým plechem a redukované napětí v samotném uzavřeném profilu.

Kontrolu je třeba provádět pro stav největšího namáhání, což je okamžik, kdy dojde k nouzovému zastavení rotace polohovadla a působí tak maximální setrvačná síla v místě těžiště svařence. Pro tento případ je uvažována maximální přípustná vzdálenost těžiště svařence od osy polohovadla. Kontrolní výpočet je zároveň prováděn pro případ, kdy by veškerá tíha svařence působila pouze na podstavec převodové jednotky a nebyla by tak rozložena mezi podstavec a koník. Ve skutečném provozu by k takovému stavu došlo, kdyby bylo těžiště svařence umístěno v minimální vzdálenosti od podstavce převodové jednotky. Ve výpočtu je zahrnuta hmotnost převodové jednotky, samotná hmotnost konstrukce podstavce není uvažována. Svařenec je nahrazen hmotným bodem, který je umístěn do maximální přípustné vzdálenosti od osy rotace polohovadla.

Protočnému průměru 2000 mm odpovídá největší naklonění podstavce, z toho důvodu byla kvůli předpokládanému největšímu namáhání zvolena pro výpočet varianta s tímto průměrem a nosností 5000 kg.

Všechny rozměry použité pro kontrolní výpočty jsou zobrazeny na Obr. 11.1.

Tečnou a normálovou složku setrvačné síly při zastavení rotace polohovadla lze vypočítat ze vztahů:

$$r_{max} = \frac{M_k}{m \cdot g} [m] \quad (11.1)$$

$$F_t = -m \cdot r_{max} \cdot \frac{0 - \omega_{max}}{t_{MTD}} [N] \quad (11.2)$$

$$F_n = m \cdot r_{max} \cdot \omega_{max}^2 [N] \quad (11.3)$$

Kde:

$r_{max} [m]$	maximální přípustná vzdálenost těžiště svařence od osy polohovadla
$F_t [N]$	tečná setrvačná síla svařence při zastavování polohovadla
$F_n [N]$	odstředivá síla svařence při rotaci polohovadla

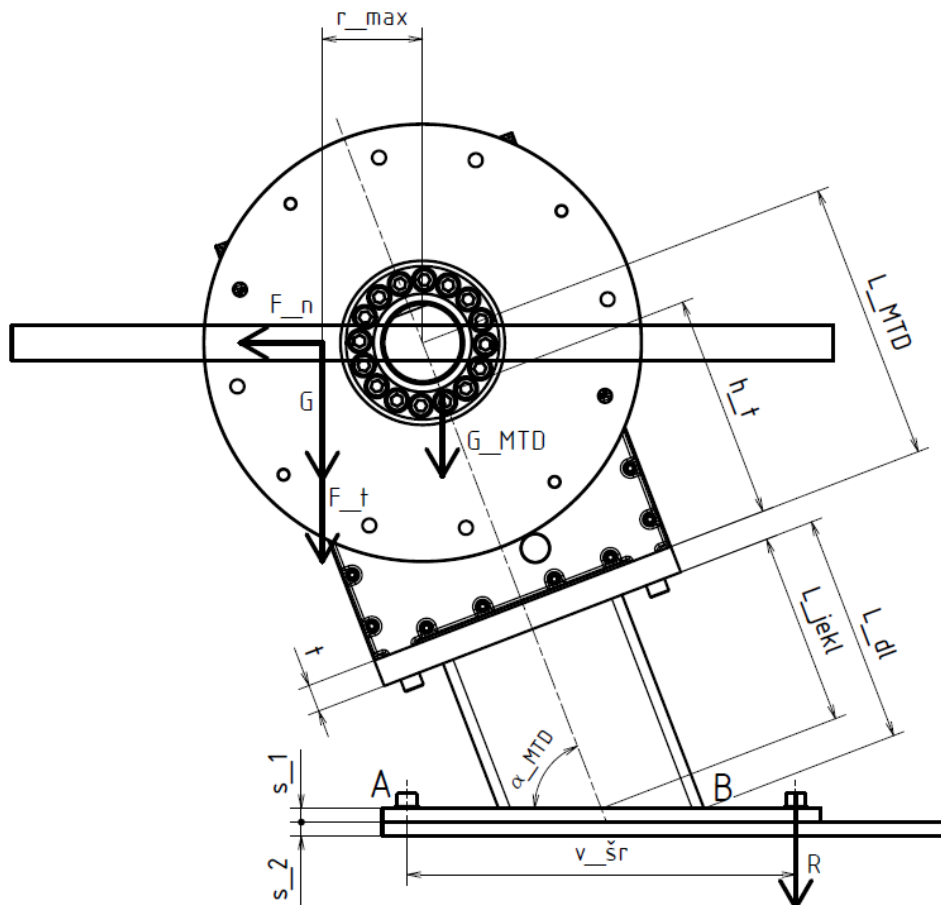
$M_k = 9000 \text{ N.m}$	kroučící moment převodové jednotky
$m = 5000 \text{ kg}$	hmotnost svařence
$\omega_{max} = 0,68 \text{ rad.s}^{-1}$	maximální úhlová rychlost převodové jednotky
$t_{MTD} = 0,9 \text{ s}$	čas zastavení převodové jednotky

Po dosazení hodnot:

$$r_{max} = \frac{9000}{5000 \cdot 9,81} = 0,183 \text{ m}$$

$$F_t = -5000 \cdot 0,183 \cdot \frac{0 - 0,68}{0,9} = 693,86 \text{ N}$$

$$F_n = 5000 \cdot 0,183 \cdot 0,68^2 = 425,07 \text{ N}$$



Obr. 11.1 Skica podstavce s výpočtovými rozměry

11.1 KONTROLA ŠROUBŮ

U kontroly šroubů je vycházeno z momentové rovnice kolem uvažovaného bodu A, kterým prochází vnitřní řada šroubů a je zobrazen na Obr. 11.1. Uvažovány jsou šrouby třídy 8.8.

Tahovou reakci v upínacích šroubech je možné vyjádřit z momentové rovnice kolem bodu A:

$$R \cdot v_{\text{šr}} = (m \cdot g + F_t) \cdot \left[r_{\text{max}} + (L_{\text{MTD}} + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \cos(\alpha_{\text{MTD}}) - \frac{v_{\text{šr}}}{2} \right] + (m_{\text{MTD}} \cdot g) \cdot \left[(h_t + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \cos(\alpha_{\text{MTD}}) - \frac{v_{\text{šr}}}{2} \right] + F_n \cdot (L_{\text{MTD}} + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \sin(\alpha_{\text{MTD}}) \quad (11.4)$$

Kde:

$R [N]$	tahová reakční síla v jedné řadě šroubů
$m_{\text{MTD}} = 770 \text{ kg}$	hmotnost převodové jednotky
$L_{\text{MTD}} = 510 \text{ mm}$	vzdálenost rotační osy převodové jednotky od její základní roviny
$t = 50 \text{ mm}$	tloušťka upínacího plechu podstavce
$L_{\text{jekl}} = 595 \text{ mm}$	osová délka uzavřeného profilu
$\alpha_{\text{MTD}} = 60^\circ$	úhel zkosení podstavce převodové jednotky
$v_{\text{šr}} = 710 \text{ mm}$	vzdálenost řad upínacích šroubů
$h_t = 409 \text{ mm}$	vzdálenost těžiště převodové jednotky od její základní roviny

Součet tahové síly v řadě šroubů lze následně vyjádřit jako:

$$R = \frac{1}{v_{\text{šr}}} \cdot \left\{ (m \cdot g + F_t) \cdot \left[r_{\text{max}} + (L_{\text{MTD}} + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \cos(\alpha_{\text{MTD}}) - \frac{v_{\text{šr}}}{2} \right] + (m_{\text{MTD}} \cdot g) \cdot \left[(h_t + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \cos(\alpha_{\text{MTD}}) - \frac{v_{\text{šr}}}{2} \right] + F_n \cdot (L_{\text{MTD}} + t + L_{\text{jekl}}) \cdot \sin(\alpha_{\text{MTD}}) \right\} \quad (11.5)$$

Po dosazení:

$$R = \frac{1}{710} \cdot \left\{ (5000 \cdot 9,81 + 693,86) \cdot \left[183 + (510 + 50 + 595) \cdot \cos(60) - \frac{710}{2} \right] + (770 \cdot 9,81) \cdot \left[(409 + 50 + 595) \cdot \cos(60) - \frac{710}{2} \right] + 425 \cdot (510 + 50 + 595) \cdot \sin(60) \right\} = 30\,872,87 \text{ N}$$

Tahová síla v jednom šroubu je následně rovna:

$$R_i = \frac{R}{n} [N] \quad (11.6)$$

Kde:

$R_i [N]$	tahová síla v jednom šroubu
$n = 5$	počet šroubů v jedné řadě

Po dosazení:

$$R_i = \frac{30\,872,87}{5} = 6\,174,57\text{ N}$$

Maximální provozní sílu je dále možné vypočítat ze vztahu:

$$Q_1 = (1 + q) \cdot R_i \text{ [N]} \quad (11.7)$$

Kde:

Q_1 [N] maximální provozní síla působící na šroub

$q = 2$ součinitel předpětí pro proměnnou vnější zatěžovací sílu

$$Q_1 = (1 + 2) \cdot 6\,174,57 = 18\,523,72\text{ N}$$

Tahové napětí v jádře šroubu:

$$\sigma_{Q1} = \frac{Q_1}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (11.8)$$

Kde:

σ_{Q1} [N.mm⁻²] tahové napětí v jádře šroubu

$d_3 = 20,319\text{ mm}$ průměr jádra šroubu M24

$$\sigma_{Q1} = \frac{18\,523,72}{\frac{\pi \cdot 20,319^2}{4}} = 57,13\text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Smykové napětí lze vypočítat ze vztahu:

$$\tau_{sr} = \sigma_{Q0} \cdot 2 \cdot \frac{d_2}{d_3} \cdot tg(\gamma + \varphi') \quad (11.9)$$

Kde:

τ_{sr} [N.mm⁻²] smykové napětí ve šroubu

σ_{Q0} [N.mm⁻²] normálové napětí od montážního předpětí šroubu

d_2 [mm] střední průměr šroubu

γ [°] úhel stoupání závitu

φ' [°] třecí úhel

Zavedením odhadů [30]:

$$\frac{\sigma_{Q0}}{\sigma_{Q1}} \cong 0,85 \quad (11.10)$$

$$2 \cdot \frac{d_2}{d_3} \cong 2,2 \quad (11.11)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \cong 0,2 \quad (11.12)$$

Lze upravit výraz na:

$$\tau_{\dot{s}r} = 0,38 \cdot \sigma_{Q1} [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.13)$$

$$\tau_{\dot{s}r} = 0,38 \cdot 57,13 = 21,71 N \cdot mm^{-2}$$

Následně vypočteme redukované napětí ve šroubu pomocí vztahu:

$$\sigma_{red_šr} = \sqrt{\sigma_{Q1}^2 + 3\tau^2} [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.14)$$

$$\sigma_{red_šr} = \sqrt{57,13^2 + 3 \cdot 21,71^2} = 68,39 N \cdot mm^{-2}$$

Kde:

$\sigma_{red_šr}$ redukované napětí ve šroubu [N/mm²]

Bezpečnost zjištěna ze vztahu:

$$k_{\dot{s}r} = \frac{\sigma_{k_šr}}{\sigma_{red}} [-] \quad (11.15)$$

Kde:

$k_{\dot{s}r} [-]$ součinitel bezpečnosti šroubu

$\sigma_{k_šr} = 640 N \cdot mm^{-2}$ mez kluzu šroubu třídy 8.8

$$k_{\dot{s}r} = \frac{640}{68,39} = 9,36$$

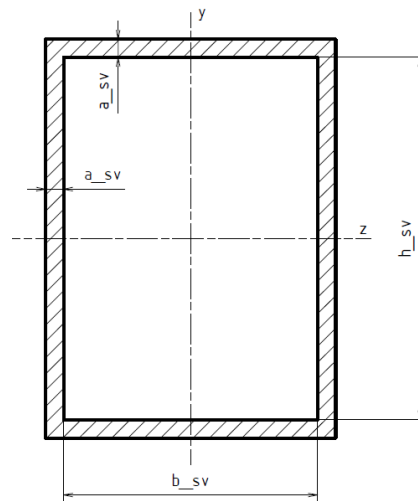
Namáhání šroubu je vyhovující se součinitelem bezpečnosti 9,36.

11.2 KONTROLA SVARU

Je kontrolován svar mezi uzavřeným profilem a plechem v podstavě. V uvažovaném stavu dochází k namáhání ohybem, kolmou a smykovou silou. Jako materiál konstrukce je uvažována ocel S235JR s mezí kluzu:

$$\sigma_k = 235 N \cdot mm^{-2}$$

Geometrie svaru je zobrazena na Obr. 11.2 (jsou zanedbána zaoblení profilu):



Obr. 11.2 Geometrie svaru

Geometrické charakteristiky lze vypočítat pomocí vztahů:

$$J_{z_{sv}} = \frac{1}{12} [(b_{sv} + 2 \cdot a_{sv}) \cdot (h_{sv} + 2 \cdot a_{sv})^3 - b_{sv} \cdot h_{sv}^3] [mm^4] \quad (11.16)$$

$$W_{o_{sv}} = \frac{J_{z_{sv}}}{\frac{h_{sv}}{2} + a_{sv}} [mm^3] \quad (11.17)$$

$$S_{sv} = (b_{sv} + 2 \cdot a_{sv}) \cdot (h_{sv} + 2 \cdot a_{sv}) - b_{sv} \cdot h_{sv} [mm^2] \quad (11.18)$$

Kde:

$J_{z_{sv}} [mm^4]$	kvadratický moment svaru
$W_{o_{sv}} [mm^3]$	modul svaru v ohybu
$S_{sv} [mm^2]$	plocha svaru
$a_{sv} = 6 \text{ mm}$	charakteristický rozměr koutového svaru
$b_{sv} = 350 \text{ mm}$	šířka šikmého řezu profilem
$h_{sv} = 404,15 \text{ mm}$	výška šikmého řezu profilem

Po dosazení:

$$J_{z_{sv}} = \frac{1}{12} [(350 + 2 \cdot 6) \cdot (404,15 + 2 \cdot 6)^3 - 350 \cdot 404,15^3] \\ = 248\,709\,328,87 \text{ mm}^4$$

$$W_{o_{sv}} = \frac{248\,709\,328,87}{\frac{404,15}{2} + 6} = 1\,195\,300,76 \text{ mm}^3$$

$$S_{sv} = (350 + 2 \cdot 6) \cdot (404,15 + 2 \cdot 6) - 350 \cdot 404,15 = 9\,193,74 \text{ mm}^2$$

Ohybové namáhání vycházející z Obr. 11.1 (úvod kapitoly 11):

$$M_{o_{sv}} = (m \cdot g + F_t) \cdot (r_{max} + (L_{MTD} + t + L_{jekl}) \cdot \cos(\alpha_{MTD})) + m_{MTD} \cdot g \cdot (h_t + t + L_{jekl}) \cdot \cos(\alpha_{MTD}) + F_n \cdot (L_{MTD} + t + L_{jekl}) \cdot \sin(\alpha_{MTD}) \quad [N \cdot mm] \quad (11.19)$$

Kde:

$M_{o_{sv}} [N \cdot mm]$ ohybový moment pro výpočet svaru

Po dosazení:

$$\begin{aligned} M_{o_{sv}} &= (5000 \cdot 9,81 + 693,86) \cdot (183 + (510 + 50 + 595) \cdot \cos(60)) + 770 \cdot 9,81 \\ &\quad \cdot (409 + 50 + 595) \cdot \cos(60) + 425 \cdot (510 + 50 + 595) \cdot \sin(60) \\ &= 42\,260\,371,47 \, N \cdot mm \end{aligned}$$

Ohybové napětí lze určit pomocí vztahu:

$$\tau_{o_{sv}} = \frac{M_{o_{sv}}}{W_{o_{sv}}} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.20)$$

Kde:

$\tau_{o_{sv}} [N/mm^2]$ ohybové napětí ve svaru

$$\tau_{o_{sv}} = \frac{42\,260\,371,47}{1\,195\,300,76} = 35,36 \, N \cdot mm^{-2}$$

Kolmé namáhání a rovnoběžné (smykové) namáhání pomocí vztahů:

$$F_{k_{sv}} = (m + m_{MTD}) \cdot g + F_t \quad [N] \quad (11.21)$$

$$\tau_{k_{sv}} = \frac{F_{k_{sv}}}{S_{sv}} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.22)$$

$$F_{s_{sv}} = F_n \quad [N] \quad (11.23)$$

$$\tau_{s_{sv}} = \frac{F_{s_{sv}}}{S_{sv}} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.24)$$

Kde:

$F_{k_{sv}} [N]$ kolmá síla zatěžující svar

$\tau_{k_{sv}} [N/mm^2]$ tlakové napětí ve svaru

$F_{s_{sv}} [N]$ smyková síla působící na svar

$\tau_{s_{sv}} [N/mm^2]$ smykové napětí ve svaru

Po dosazení:

$$F_{k_{sv}} = (5000 + 770) \cdot 9,81 + 693,86 = 57\,297,56 \text{ N}$$

$$\tau_{k_{sv}} = \frac{57\,297,56}{9\,193,74} = 6,23 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$F_{s_{sv}} = 425,07 \text{ N}$$

$$\tau_{s_{sv}} = \frac{425,07}{9\,193,74} = 0,046 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Výpočet redukovaného napětí:

$$\tau_{red_{sv}} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{o_{sv}} + \tau_{k_{sv}}}{\alpha_{kolmé}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{s_{sv}}}{\alpha_{rovn}}\right)^2} \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (11.25)$$

Kde:

$\tau_{red_{sv}} \text{ [N/mm}^2]$ redukované napětí v koutovém svaru

$\alpha_{kolmé} = 0,75$ součinitel anizotropie pro kolmé namáhání

$\alpha_{rovn} = 0,65$ součinitel anizotropie pro rovnoběžné namáhání

$$\tau_{red_{sv}} = \sqrt{\left(\frac{35,36 + 6,23}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{0,046}{0,65}\right)^2} = 55,45 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Bezpečnost svaru lze následně zjistit ze vztahu:

$$k_{sv} = \frac{\beta \cdot \sigma_k}{\tau_{red_{sv}}} [-] \quad (11.26)$$

Kde:

$k_{sv} [-]$ součinitel bezpečnosti svaru

$\beta [-]$ součinitel koutového svaru

$\sigma_k = 235 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ mez kluzu materiálu S235JR

Součinitel β je určen ze vztahu:

$$\beta = 1,3 - 0,043a_{sv} [-] \quad (11.27)$$

$$\beta = 1,3 - 0,043 \cdot 6 = 1,042$$

Bezpečnost svaru po dosazení:

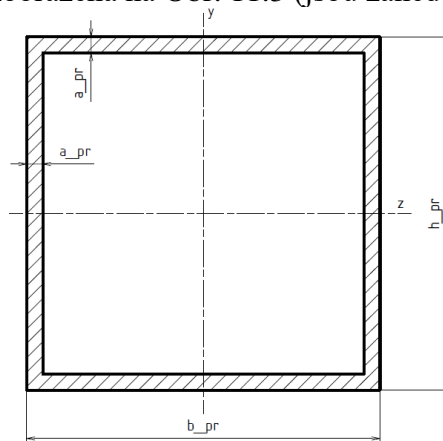
$$k_{sv} = \frac{1,042 \cdot 235}{55,45} = 4,42$$

Velikost svaru je pro dané namáhání vyhovující s bezpečnostním součinitelem 4,42.

11.3 KONTROLA NAMÁHÁNÍ UZAVŘENÉHO PROFILU

Uzavřený profil lze nahradit vetknutým nosníkem o délce delší strany seříznutého profilu, kdy je uvažováno namáhání tíhovými silami svařence a převodové jednotky a setrvačnou silou při nouzovém zastavení. Tíha samotné konstrukce je zanedbána. Největší namáhání myšleného nosníku bude v bodě B zobrazeném na Obr. 11.1 (úvod kapitoly 11).

Geometrie nosníku je zobrazena na Obr. 11.3 (jsou zanedbána zaoblení profilu):



Obr. 11.3 Geometrie profilu (uvažovaného nosníku)

$$J_{z_pr} = \frac{1}{12} [b_{pr} \cdot h_{pr}^3 - (b_{pr} - 2 \cdot a_{pr}) \cdot (h_{pr} - 2 \cdot a_{pr})^3] \text{ [mm}^4\text{]} \quad (11.28)$$

$$W_{o_pr} = \frac{J_{z_pr}}{\frac{h_{pr}}{2}} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (11.29)$$

$$S_{pr} = b_{pr} \cdot h_{pr} - (b_{pr} - 2 \cdot a_{pr}) \cdot (h_{pr} - 2 \cdot a_{pr}) \text{ [mm}^2\text{]} \quad (11.30)$$

Kde:

$J_{z_pr} \text{ [mm}^4\text{]}$	kvadratický moment uzavřeného profilu
$W_{o_pr} \text{ [mm}^3\text{]}$	modul v ohybu uzavřeného profilu
$S_{pr} \text{ [mm}^2\text{]}$	plocha průřezu uzavřeného profilu
$a_{pr} = 12,5 \text{ mm}$	tloušťka stěny uzavřeného profilu



$b_{pr} = 350 \text{ mm}$ šířka řezu uzavřeného profilu
 $h_{pr} = 350 \text{ mm}$ výška řezu uzavřeného profilu

Po dosazení:

$$J_{z_{pr}} = \frac{1}{12} [350 \cdot 350^3 - (350 - 2 \cdot 12,5) \cdot (350 - 2 \cdot 12,5)^3] \\ = 320\,800\,781,25 \text{ mm}^4$$

$$W_{o_{pr}} = \frac{320\,800\,781,25}{\frac{350}{2}} = 1\,833\,147,32 \text{ mm}^3$$

$$S_{pr} = 350 \cdot 350 - (350 - 2 \cdot 12,5) \cdot (350 - 2 \cdot 12,5) = 16\,875 \text{ mm}^2$$

Maximální ohybový moment ve vetknutí vycházející z Obr. 11.1 (úvod kapitoly 11):

$$M_{o_{pr}} = (m \cdot g + F_t) \cdot (r_{max} + (L_{MTD} + t + L_{dl}) \cdot \cos(\alpha_{MTD})) + m_{MTD} \cdot g \\ \cdot (h_t + t + L_{dl}) \cdot \cos(\alpha_{MTD}) + F_n \cdot (L_{MTD} + t + L_{dl}) \cdot \sin(\alpha_{MTD}) \quad [N \cdot mm] \quad (11.31)$$

Kde:

$M_{o_{pr}} [N \cdot mm]$ ohybový moment působící ve vetknutí profilu

$L_{dl} = 696,04 \text{ mm}$ délka dlouhé strany seříznutého profilu

Po dosazení:

$$M_{o_{pr}} = (5000 \cdot 9,81 + 693,86) \cdot (183 + (510 + 50 + 696,04) \cdot \cos(60)) + 770 \\ \cdot 9,81 \cdot (409 + 50 + 696,04) \cdot \cos(60) + 425 \cdot (510 + 50 + 696,04) \cdot \sin(60) \\ = 45\,192\,131,57 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybové napětí v bodě B lze určit pomocí vztahu:

$$\sigma_{o_{pr}} = \frac{M_{o_{pr}}}{W_{o_{pr}}} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.32)$$

Kde:

$\sigma_{o_{pr}} [N/mm^2]$ ohybové napětí v uzavřeném profilu

$$\sigma_{o_{pr}} = \frac{45\,192\,131,57}{1\,833\,147,32} = 24,65 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Tlakovou sílu lze vypočítat ze vztahu:

$$F_{tl_pr} = -((m + m_{MTD}) \cdot g + F_t) \cdot \sin(\alpha_{MTD}) + F_n \cdot \cos(\alpha_{MTD}) \quad [N] \quad (11.33)$$

Kde:

$F_{tl_pr} [N]$ tlaková síla na uzavřený profil

$$\begin{aligned} F_{tl_pr} &= -((5000 + 770) \cdot 9,81 + 693,86) \cdot \sin(60) + 425 \cdot \cos(60) = \\ &= -49\,408,61 \, N \end{aligned}$$

Následně je možné vypočítat tlakové napětí ze vztahu:

$$\sigma_{tl_pr} = \frac{F_{tl_pr}}{S_{pr}} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.34)$$

Kde:

$\sigma_{tl_pr} [N/mm^2]$ tlakové napětí v uzavřeném profilu

$$\sigma_{tl_pr} = \frac{-49\,408,61}{16\,875} = -2,93 \, N \cdot mm^{-2}$$

Redukované napětí je u kombinace ohybu s tlakem rovné součtu obou napětí:

$$\sigma_{red_pr} = \sigma_{o_pr} + \sigma_{tl_pr} \quad [N \cdot mm^{-2}] \quad (11.35)$$

Kde:

$\sigma_{red_pr} [N/mm^2]$ redukované napětí v uzavřeném profilu

$$\sigma_{red_pr} = 24,65 - 2,93 = 21,72 \, N \cdot mm^{-2}$$

Bezpečnost profilu lze následně zjistit ze vztahu:

$$k_{pr} = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red_pr}} \quad [-] \quad (11.36)$$

Kde:

$k_{pr} [-]$ součinitel bezpečnosti uzavřeného profilu

$\sigma_k = 235 \, N \cdot mm^{-2}$ mez kluzu materiálu S235JR

$$k_{pr} = \frac{235}{21,72} = 10,82$$

Použitý uzavřený profil je vyhovující s bezpečností 10,82.

12 USPOŘÁDÁNÍ PRACOVISTĚ

Po dokončení návrhu rámu je nutné navrhnout samotné prostorové rozložení celého pracoviště. Důležitým aspektem rozložení je především bezpečnost, kdy je třeba zamezit přítomnosti pracovníka v prostoru, kde právě probíhá svařování. Dále je nutné odstínění záření při samotném procesu svařování. Umístění pracoviště je uvažováno v prostoru certifikované svařovny, z toho důvodu není nutné řešit odsávání zplodin v prostoru pracoviště.

12.1 VARIANTY ZABEZPEČENÍ PRACOVISTĚ

Varianty, jak zabezpečit pracoviště proti přítomnosti operátora v prostoru svařování, se liší použitými komponentami, což ovlivňuje ceny jednotlivých řešení. Možnosti jsou následující:

A. Vertikální světelná závora, pre-reset tlačítko a plenta proti záření

Nejlevnější varianta. Operátor musí pro spuštění svařovací operace nejprve stisknout pre-reset tlačítko umístěné v pracovním prostoru, následně opustí prostor a světelná závora zaznamená jeho průchod, což umožní počátek operace. Pracovník za sebou musí ještě zatáhnout plentu odstiňující záření. Pokud by se následně někdo pokusil do pracoviště vniknout, světelná závora zaznamená jeho průchod a svařovací operace je přerušena. Plenta nemusí být dokonalým zabezpečením proti záření, což je nevýhodou tohoto řešení.

B. Rychloběžná vrata a horizontální světelná závora

Další variantou zabezpečení je použití rychloběžných vrat, která fyzicky zabraňují vstupu operátora do pracovního prostoru v době svařování. V případě rychloběžných vrat je třeba monitorovat celý pracovní prostor a vyloučit tím případnou přítomnost operátora. K tomu v tomto případě slouží světelná závora umístěná v horizontální poloze při zemi na okrajích pracoviště. Pokud by v prostoru došlo k jakémukoliv pohybu, dojde k zastavení pracovního cyklu. V případě navrhovaného pracoviště však tato varianta zabezpečení není vhodná, jelikož umístění světelné závory pod svařovací polohovadlo je komplikované. Dalším nedostatkem je, že závora může detekovat padající částice od svařování a zastavit tak svařovací proces. Z toho důvodu budou preferovány jiné varianty zabezpečení.

C. Rychloběžná vrata a bezpečnostní skener

Jde o obdobu varianty předchozí, pouze místo horizontálně umístěné světelné závory je použit bezpečnostní skener pro sledování pracovního prostoru. Bezpečnostní skener je však ještě citlivější na padající částice od svařování.

D. Posuvná vrata s bezpečnostním zámkem a pre-reset tlačítko

V této variantě jsou použita posuvná vrata opatřená bezpečnostním zámkem. Pro spuštění svařovacího cyklu je třeba stisknout pre-reset tlačítko a vrata zavřít. Bezpečnostní zámek zaznamená, že došlo k uzavření vrat a umožní spuštění svařovací operace. Pokud by se někdo pokusil do prostoru vniknout, bezpečnostní zámek operaci přeruší. V pracovním prostoru je zároveň nutné umístění tlačítka nouzového zastavení.

Posuvná vrata by bylo možné kombinovat i s horizontální světelnou závorou či bezpečnostním skenerem.

Pro zhotovení modelu byla vybrána varianta D. Důvodem je, že varianta A je nedokonalá z hlediska odstínění záření pouze pomocí plenty a monitorování přítomnosti osoby v pracovním prostoru pomocí horizontální světelné závory či bezpečnostního skeneru v případě variant B a C má nevýhodu v možnosti přerušení operace kvůli padajícím částicím od svařování.

12.2 NÁVRH OPLOCENÍ

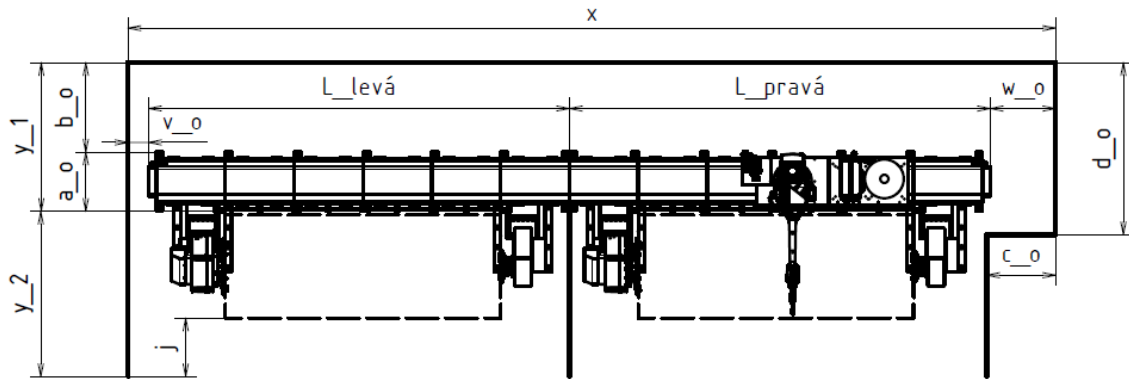
Rozměry oplocení se budou měnit v závislosti na zvolených rozměrech samotného rámu. Navrhované uspořádání oplocení je zobrazeno na Obr. 12.1.

Robot je vybaven funkcí SafeMove, která umožňuje nastavení bezpečnostních zón, ve kterých může robot pracovat, což vede k minimalizaci vzdáleností robotu od oplocení.

Pro návrh jsou použity stejné parametry jako pro konstrukci rámu:

- Nosnost polohovadel – 5000 kg
- Délka obou svařovacích přípravků přípravku – 4000 mm
- Maximální protočný průměr obou přípravků – 1500 mm

Tyto hodnoty jsou následně zvoleny i pro zhotovení 3D modelu pracoviště.



Obr. 12.1 Návrhové rozměry oplocení

V případě bezpečnostní varianty pracoviště bez použití vrat pro zamezení vstupu do operačního prostoru je třeba počítat bezpečnou vzdálenost s mezi polohovadlem a světelnou závorou (při použití světelné závory by vzdálenost s nahradila rozměr j na Obr. 12.1). Výpočet vzdálenosti s vychází z rychlosti nouzového zastavení dané soustavy, kdy pro celkový čas zastavení platí:

$$T_{celk} = t_{sick} + t_{PLC} + t_{stykač} + t_{MTD} [s] \quad (12.1)$$

Kde:

$T_{celk} [s]$	celkové zpoždění reakce při zastavení
$t_{sick} = 0,013 s$	zpoždění světelné závory
$t_{PLC} = 0,03 s$	zpoždění PLC
$t_{stykač} = 0,024 s$	čas vypnutí stykače
$t_{MTD} = 0,9 s$	čas zastavení převodové jednotky

Po dosazení:

$$T_{celk} = 0,013 + 0,03 + 0,024 + 0,9 = 0,967 s$$

Bezpečná vzdálenost s je poté vypočtena ze vztahu [27] [28]:

$$s = K \cdot T_{celk} + 8 \cdot (d - 14) [mm] \quad (12.2)$$

Kde:

$s [mm]$	bezpečná vzdálenost mezi svařovacím přípravkem a světelnou závorou
$K = 2000 mm \cdot s^{-1}$	rychlost pohybu operátora
$d = 30 mm$	rozteč paprsků optické závory

V případě použití světelné závory a převodové jednotky MTD 5000 vychází bezpečná vzdálenost takto:

$$s = 2000 \cdot 0,967 + 8 \cdot (30 - 14) = 2062 \text{ mm}$$

V případě použití bezpečnostní varianty s vraty není potřeba počítat bezpečnostní vzdálenost s a vzdálenost vrat od svařovacího přípravku je zvolena tak, aby byl zajištěn dostatek prostoru pro pohyb operátora. Oplocení je možné rozdělit na tři základní části: x , y_1 , y_2 . Části x a y_2 se mění v závislosti na měnících se parametrech rámu, část y_1 zůstává pro všechny varianty stejná. Výpočty jednotlivých částí oplocení jsou následující.

$$x = L_{levá} + L_{pravá} + v_o + w_o \text{ [mm]} \quad (12.3)$$

Kde:

$x \text{ [mm]}$	podélný rozměr oplocení
$L_{levá} = 6113,5 \text{ mm}$	délka levé části pojezdové dráhy (dráha mírně přesahuje za okraj rámu, z toho důvodu je počítáno s tímto rozměrem)
$L_{pravá} = 6113,5 \text{ mm}$	délka pravé části pojezdové dráhy
$v_o = 200 \text{ mm}$	zvolená vzdálenost dráhy od oplocení
$w_o = 950 \text{ mm}$	zvolená vzdálenost dráhy od oplocení

Po dosazení:

$$x = 6113,5 + 6113,5 + 200 + 950 = 13\,377 \text{ mm}$$

$$y_1 = a_o + b_o \text{ [mm]} \quad (12.4)$$

Kde:

$y_1 \text{ [mm]}$	fixní rozměr oplocení
$a_o = 860 \text{ mm}$	šířka podélné části rámu (včetně zábrany)
$b_o = 1250 \text{ mm}$	zvolená vzdálenost rámu od oplocení

Po dosazení:

$$y_1 = 860 + 1250 = 2110 \text{ mm}$$

$$y_2 = e + D + j \text{ [mm]} \quad (12.5)$$

Kde:

$y_2 \text{ [mm]}$	proměnný rozměr oplocení
$e = 50 \text{ mm}$	vůle mezi svařovacím přípravkem a zábranou



$D = 1500 \text{ mm}$ maximální použitelný protočný průměr polohovadla
 $j = 800 \text{ mm}$ zvolená vzdálenost vrat od svařovacího přípravku

Po dosazení:

$$y_2 = 50 + 1500 + 800 = 2350 \text{ mm}$$

Výsledná návrhová délka oplocení je následně vypočtena jako:

$$L_{celk} = x + 2 \cdot y_1 + 3 \cdot y_2 + c_o \text{ [mm]} \quad (12.6)$$

Kde:

$L_{celk} \text{ [mm]}$ celková navrhovaná délka oplocení
 $c_o = 1000 \text{ mm}$ zvolený rozměr oplocení

Návrhová délka oplocení pro zvolené pracoviště vychází:

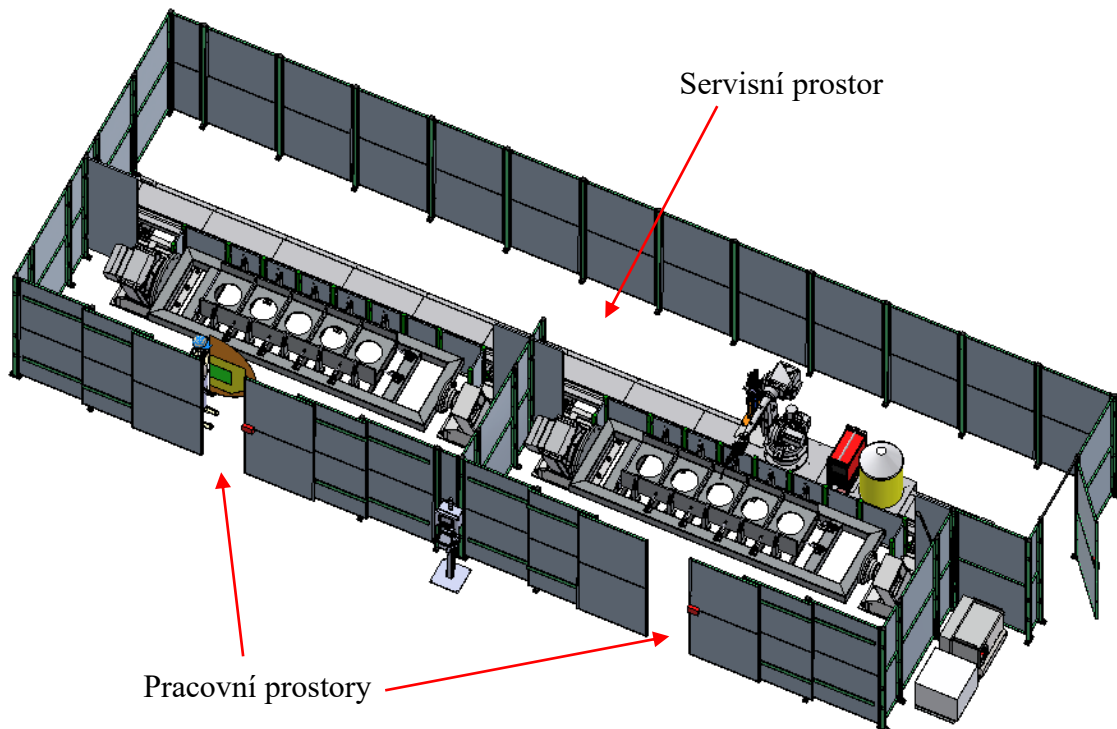
$$L_{celk} = 13377 + 2 \cdot 2110 + 3 \cdot 2350 + 1000 = 25\,647 \text{ mm}$$

Reálné oplocení se skládá z dílů různých délek, jejichž nabídka je závislá na zvoleném dodavateli. Je tedy možné, že se výsledná délka může mírně lišit od návrhového výpočtu. Použitím vhodných dílů se však dá navrhovaným rozměrům přiblížit.

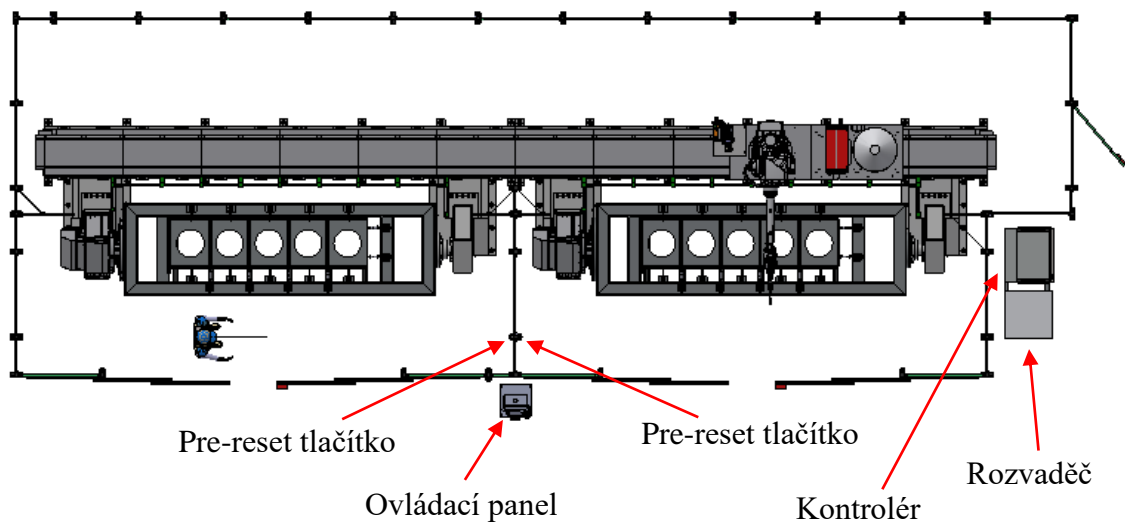
12.3 MODEL PRACOVIŠTĚ

Za použití stejných parametrů jako pro výpočet návrhových rozměrů oplocení byl zhotoven 3D model pracoviště. Použitým robotem je ABB IRB 4600, který má dostatečný dosah pro použitý protočný průměr svařovacího přípravku. Oplocení a vrata v modelu jsou od firmy Haberkorn. Pracoviště je možné vidět na Obr. 12.2 a Obr. 12.3.

Samotné pracoviště je rozděleno do třech hlavních oblastí, dva pracovní prostory s příslušnými polohovadly a jeden servisní prostor. Každá z oblastí představuje bezpečnostní zónu. Servisní prostor je přístupný postranními dveřmi, které jsou také opatřeny bezpečnostním zámekem.

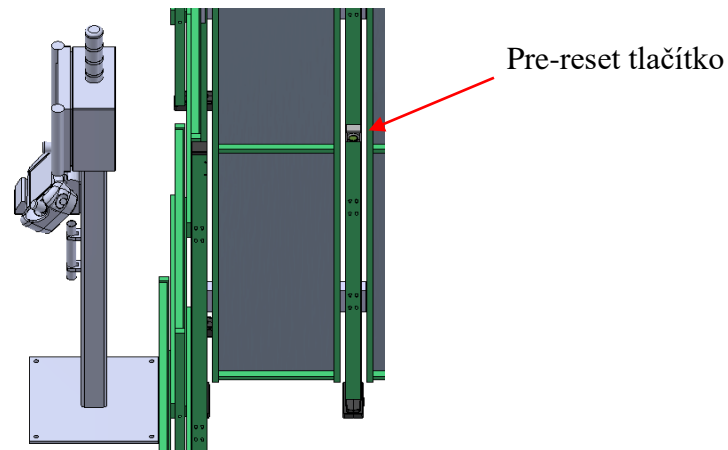


Obr. 12.2 Kompletní model pracoviště



Obr. 12.3 Půdorys pracoviště

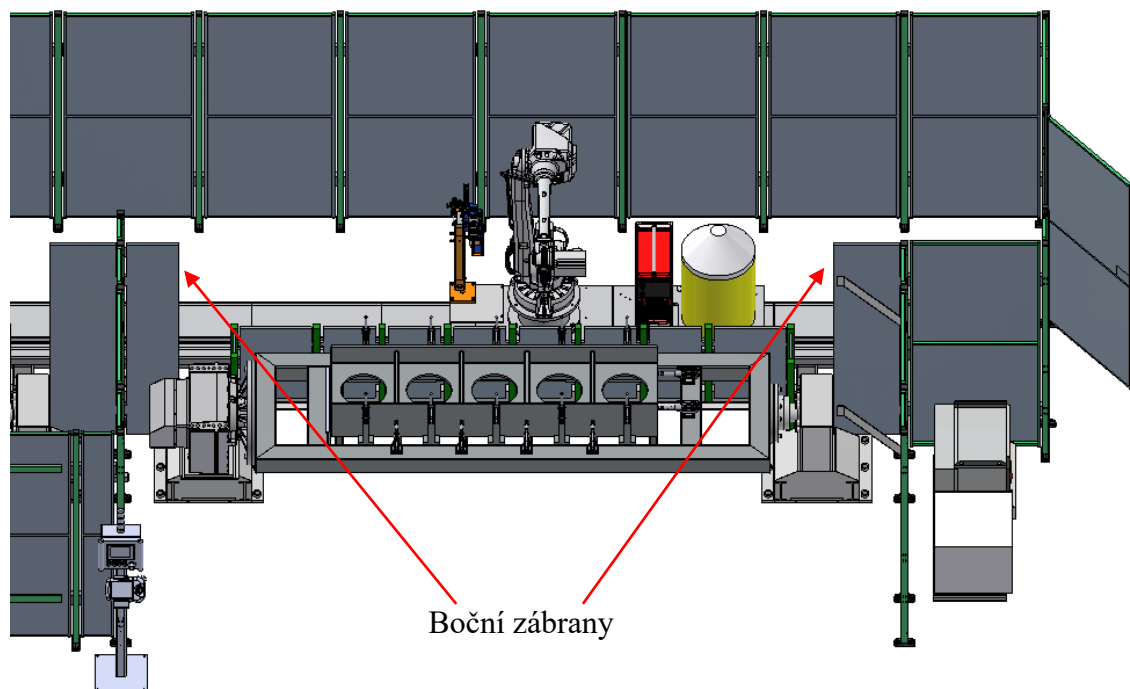
Z hlediska zabezpečení pracoviště je volena varianta s pre-reset tlačítkem a posuvnými vraty s bezpečnostním zámekem, vzdálenost vrat od svařovacího přípravku tedy nevychází z bezpečnostního výpočtu, ale je zvolena tak, aby byl zajištěn dostatek prostoru pro operátora. Mezi vstupy do obou pracovních prostorů se nachází ovládací panel, který slouží pro spouštění pracovních operací. Pre-reset tlačítko je možné vidět na Obr. 12.4.



Obr. 12.4 Umístění pre-reset tlačítka

U převodové jednotky a koníku jsou k oplocení připevněny zábrany sloužící k oddělení operačního a servisního prostoru. Plní stejnou funkci, jako zábrany připevněné k rámu, tedy zamezení přístupu do servisního prostoru z obou pracovních prostor. Zábrany jsou zobrazeny na Obr. 12.5.

Z vnější strany oplocení je na společném rámu umístěn rozvaděč a kontrolér IRC5. Umístění na jednu rámu slouží k usnadnění přepravy a zamezení nutnosti rozpojovat kabeláž mezi IRC5 a rozvaděčem při přepravě.



Obr. 12.5 Čelní pohled na pracoviště

13 ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší návrh svařovacího robotického pracoviště s použitím E-rámu pro různé požadované vstupní parametry. Byla navržena konstrukce rámu a způsob změny rozměrů pro dosažení variability. Dále byly navrženy různé způsoby zabezpečení pracoviště. Pro zvolené rozměry byl vypracován 3D model rámu i celého svařovacího pracoviště. Byly provedeny kontrolní výpočty pro nejméně příznivou variantu rámu z hlediska zatížení. Samotná práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části se práce zabývá důvody k využití automatizace a robotizace v průmyslové výrobě, jsou zváženy její výhody i nevýhody pro aplikaci ve svařování. Souvisejícím tématem s robotizací jsou samotné průmyslové roboty a typy používaných konstrukcí, které jsou rozebrány v další kapitole. V závěru rešeršní části je práce zaměřena na témata spojená s návrhem robotizovaného pracoviště, kde informuje o používaných typech polohovadel pro svařovací operace a o způsobech zabezpečení pracoviště.

Z úvodu praktické části jsou zváženy různé varianty řešení požadavků na variabilní rozměry, následně jsou na základě montáže, dopravy a ceny vybrány nejvhodnější. Na základě tohoto zhodnocení je dále zpracována konstrukce rámu pro zvolené rozměry, pro ostatní rozměry je uveden způsob změny parametrů konstrukce. Pro zvolený rám je zhotoven 3D model, jehož součástí jsou i všechny komponenty použité ve finálním modelu pracoviště, v rámci konstrukce rámu bylo provedeno i navržení koníku pro variantu s nosností 5000 kg.

Ve výpočtové části se práce soustředí na kontrolu namáhání podstavce převodové jednotky polohovadla. Výpočty jsou provedeny pro variantu s největším průměrem svařovacího přípravku a největší nosností polohovadla. Kontrolovány jsou upínací šrouby podstavce, svar profilu s plechem a namáhání samotného profilu.

V závěru je práce zaměřena na navržení prostorového uspořádání pracoviště a varianty jeho zabezpečení. Je uvedena závislost délky oplocení na měnicích se parametrech rámu. Následně je pro vybranou variantu zpracován 3D model kompletního pracoviště.



Před samotnou implementací navrženého pracoviště bude potřeba dokončit varianty konstrukce rámu pro zbylé požadované nosnosti, jelikož součástí práce je pouze model jedné vybrané varianty. Dále je před zařazením pracoviště do výroby nutné ověřit jeho funkci v simulačním programu RobotStudio.

Přínosem práce je navržení řešení svařovacího pracoviště s využitím pojezdové dráhy robota a dvou polohovadel pro zvýšení produkce ve výrobě rozměrnějších svařenců. Použití E-rámu je pro výrobce oproti přímému kotvení pojezdové dráhy do země výhodné v tom, že je možné rám sestavit a otestovat přímo v prostorách výrobce a následně převézt zkompletovaný k zákazníkovi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Deloitte, 2018. Automatizace práce v ČR [online]. [cit. 13.12.2020] Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/cz/cs/pages/strategy-operations/articles/automatizace-prace-v-cr.html>
- [2] FEJFAROVÁ, Adéla. Robotizace a její dopad na profese. In: *Svět průmyslu* [online]. [cit. 13.12.2020] Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2020/03/30/robotizace-a-jeji-dopad-na-profese/>
- [3] Fanuc, 2020. Vyplatí se automatizovat? In: *technickyporta.cz* [online]. 21.9. [cit. 13.12.2020] Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/vyplati-se-automatizovat_51200.html
- [4] HONG, Tang Sai, GHOBAKHLOO, Morteza, KHAKSAR, Weria, 2014. Robotic Welding Technology. *Comprehensive Materials Processing* [online]. Elsevier, s. 77-99 [cit. 15.6.2021] DOI: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00604-X. ISBN 9780080965338. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008096532100604X?via%3Dihub>
- [5] KAH, P, M SHRESTHA, E HILTUNEN A J MARTIKAINEN, 2015. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* [online]. Springer [cit. 15.6.2021] DOI: 10.1186/s40712-015-0042-y. ISSN 1823-0334. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40712-015-0042-y>
- [6] PROCHÁZKA, J, ZAHRADNÍK, M, NĚMEC, M a J NOVOTNÝ. *Technologie slévání, tváření a svařování*. Praha : Editační středisko ČVUT, 1982. 343 s.
- [7] BENEŠ, Libor, 2020. Přehled svařování [online]. 20.10. [cit. 17.12.2020] Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
- [8] MIKULA, Martin. *Optimalizace svařovacího robotického pracoviště : diplomová práce*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2018. 91 s.
- [9] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení: Učební text pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Brno : Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství, 2016.

-
- [10] H&H Robotics. Robotické svřování [online]. [cit. 17.12.2020] Dostupné z:
<https://www.roboticke-svarovani.com/roboticke-svarovani>
- [11] ANDRLÍK, Vladimír. *Průmyslové roboty a manipulátory*.
Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2012. 256 s.
- [12] SKAŘUPA, Jiří, 2007. Průmyslové roboty a manipulátory : učební text.
Docplayer [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava
[cit. 15.11.2020] Dostupné z: <https://docplayer.cz/6707948-Prumyslove-roboty-a-manipulatory.html>
- [13] TALÁCKO, Jaroslav. *Automatizace výrobních strojů a zařízení*.
Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2000. 50 s.
- [14] ČERNOHORSKÝ, Josef. Kinematika a topologie robotů : učební text.
Docplayer [online]. Liberec: TUL v Liberci [cit. 13.12.2020] Dostupné z:
<https://docplayer.cz/43156364-Zaklady-robotiky-kinematika-a-topologie-robotu.html>
- [15] KALÁB, Vladimír, 2019. Trh s roboty roste. Kdo jsou hlavní výrobci?
In: *roboticjournal.cz* [online] [cit. 21.6.2021] Dostupné z:
<https://www.roboticjournal.cz/clanky/2019-cislo-3-trh-s-roboty-roste-kdo-jsou-hlavni-vyrobci>
- [16] JAKOUBEK, Ondřej. *Řešení otočného stolu „D“ s nosností 2 x 1500 kg : diplomová práce*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2015. 113 s.
- [17] KAŠTOVSKÝ, Vít. *Analýza svařovacích buněk a návrh robotického pracoviště pro svařování sedadla autobusu : bakalářská práce*.
Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2017. 52 s.
- [18] GLOSER, Luboš. *Bezpečnost práce na robotizovaném pracovišti s ohledem na Průmysl 4.0 : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019. 81 s.
- [19] VYSOCKÝ, Aleš. *Roboty přímo spolupracující s člověkem : disertační práce*.
Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019. 101 s.
- [20] Evropská unie, 2020. Označení CE [online]. 4.11. [cit. 13.12.2020] Dostupné z:
https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_cs.htm

- [21] Evropská unie, 2020. Technická dokumentace a EU prohlášení o shodě [online]. 14.8. [cit. 13.12.2020] Dostupné z:
https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/compliance/technical-documentation-conformity/index_cs.htm
- [22] PAVELKA, Václav. *Bezpečnost robotického pracoviště : bakalářská práce*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. 44 s.
- [23] ČERVENKA, Aleš. *Návrh robotického pracoviště na překládání „sběrných trubek“ : diplomová práce*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2015. 94 s.
- [24] Zásady pro konstrukci nouzového zastavení. In: *elektroprumysl.cz* [online]. 11.7.2012 [cit. 13.12.2020] Dostupné z:
<https://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/zasady-pro-konstrukci-nouzoveho-zastaveni>
- [25] PTÁČEK, Jan. *Návrh robotického pracoviště : diplomová práce*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2020. 78 s.
- [26] KELAR, Jan. *Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2020. 65 s.
- [27] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno : Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. 800 s. ISBN 978-80-2144-828-5
- [28] VOJÁČEK, Antonín, 2014. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závoryami. In: *automatizace.hw.cz* [online]. 20.10. [cit. 13.12.2020] Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- [29] Principles of rolling bearing selection [online]. SKF [cit. 9.6.2021] Dostupné z:
<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection>
- [30] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů – spoje a části spojovací*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2002. 169 s.
- [31] Polohovadla [online]. ABB [cit. 18.12.2020] Dostupné z:
<https://new.abb.com/products/robotics/cs/aplikacni-zarizeni-a-prislusenstvi/polohovadla>
- [32] Průmyslové roboty [online] ABB [cit. 19.12.2020] Dostupné z:
<https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty>

-
- [33] Svařovací pracoviště s E-rámem [online] Valk Welding [cit. 28.2.2021]
Dostupné z: <https://www.valkwelding.com/cz/automatizace-svarovani/valk-welding-pracovite/product-72>
- [34] Hiwin robot sedmá osa pojezd. In: *konstrukter.cz* [online]. Nová media, s.r.o. [cit. 28.2.2021] Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/pojezdove-drahy-hiwin-pridavaji-prumyslovym-robotum-sedmou-osu/hiwin-robot-sedma-osa-pojezd/>
- [35] IRBT 2005 – střední pojezdová plošina [online]. ABB [cit. 7.3.2021]
Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/aplikacni-zarizeni-a-prislusenstvi/pojezdy/irbt-2005>
- [36] Technická data pro IRB 4600 [online]. ABB [cit. 15.6.2021] Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600/irb-4600-technicka-data>
- [37] Motor Units and Gear Units, Product specification [online]. ABB [cit. 15.6.2021] Dostupné z: <https://new.abb.com/products/3HAC035444-002/3hac035444-002>
- [38] ŘEZNÍČEK, Jan, 2021. *Pružnost a pevnost I – podklady pro přednášky* [online]. Praha : ČVUT Fakulta strojní [cit. 15.6.2021] Dostupné z: http://pruznost.unas.cz/PP_I_19_20.pdf
- [39] Gear Units [online]. ABB [cit. 1.7.2021] Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/motor-and-gear-units/gear-units>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4.1 Cenové a produkční porovnání výrob [4].....	16
Obr. 5.1 ABB IRB 2600ID [32]	20
Obr. 5.2 ABB IRB 360 FlexPicker [32]	20
Obr. 5.3 TTT pracovní prostor [11].....	21
Obr. 5.4 RTT pracovní prostor [11].....	22
Obr. 5.5 RRT pracovní prostor [11]	22
Obr. 5.6 RRR pracovní prostor [11]	23
Obr. 6.1 ABB IRBP L [31]	24
Obr. 6.2 ABB ITBP R [31]	25
Obr. 6.3 ABB IRBP K [31].....	25
Obr. 6.4 ABB IRBP A [31].....	26
Obr. 6.5 ABB IRBP B [31].....	26
Obr. 6.6 ABB IRBP D [31].....	26
Obr. 8.1 Svařovací pracoviště od firmy Valk Welding [33].....	31
Obr. 8.2 Zjednodušené zobrazení E-rámu	32
Obr. 8.3 Rám složený z podstavců [34].....	33
Obr. 8.4 Řešení rámu pomocí nastavných dílců	33
Obr. 8.5 Rám složený ze dvou hlavních částí.....	34
Obr. 8.6 Řešení s podstavcem kolmým na podstavu	35
Obr. 8.7 Řešení s podstavcem pod úhlem.....	35
Obr. 9.1 Převodová jednotka MTD 5000 s přírubou [39]	36
Obr. 9.2 Zatěžovací diagram jednotky MTD 5000 [37].....	37
Obr. 9.3 Pojezdová dráha IRBT 2005 [35].....	37
Obr. 9.4 Pracovní prostor robota IRB 4600 [36]	38
Obr. 9.5 Svařovaný rám se základy pro podstavce.....	39
Obr. 9.6 Kapsy pro transport	40
Obr. 9.7 Otvory pro vedení kabelů	40
Obr. 9.8 Podstavec převodové jednotky	40
Obr. 9.9 Podstavec koníku.....	40
Obr. 9.10 Přišroubování podstavce k základu	41
Obr. 9.11 Svěrný spoj	41



Obr. 9.12 Zobrazení s transparentní trubicou	41
Obr. 9.13 Detail rámu v místě svěrného spoje.....	42
Obr. 9.14 Kompletní konstrukce rámu	42
Obr. 9.15 Nosník odpovídající polohovadlu [38]	43
Obr. 9.16 Uložení příruby koníku.....	45
Obr. 9.17 Rám po montáži všech komponent.....	46
Obr. 9.18 Kryt podstavce	46
Obr. 9.19 Spojení zábrany a pojezdové dráhy s rámem	47
Obr. 9.20 Komponenty na pojezdové dráze	47
Obr. 9.21 Uchycení svařence v přípravku	48
Obr. 10.1 Rozměry měnící se pro různé nosnosti.....	50
Obr. 10.2 Délky částí rámu a polohovadel	50
Obr. 10.3 Skica určujících rozměrů podstavce	51
Obr. 10.4 Návrhové rozměry koníku	54
Obr. 11.1 Skica podstavce s výpočtovými rozměry	56
Obr. 11.2 Geometrie svaru.....	60
Obr. 11.3 Geometrie profilu (uvažovaného nosníku)	63
Obr. 12.1 Návrhové rozměry oplocení	68
Obr. 12.2 Kompletní model pracoviště.....	71
Obr. 12.3 Půdorys pracoviště.....	71
Obr. 12.4 Umístění pre-reset tlačítka.....	72
Obr. 12.5 Čelní pohled na pracoviště	72

SEZNAM TABULEK

Tab. 8.1 Zadané parametry pracoviště.....	32
Tab. 9.1 Použitelné roboty [35]	38
Tab. 10.1 Zvolený profil v závislosti na nosnosti a kroutícím momentu	49
Tab. 10.2 Hodnoty rozměrů pro různé nosnosti	50
Tab. 10.3 Zvolené délky rámu	51
Tab. 10.4 Výpočtové rozměry převodových jednotek.....	52
Tab. 10.5 Výpočet pro MTD 5000	53
Tab. 10.6 Vypočtené hodnoty pro koník	54



SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

Microsoft Word

Microsoft Excel

Autodesk Inventor Professional 2021

Autodesk AutoCAD 2021

Dassault Systèmes SolidWorks Education Edition 2019

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

BP-00	Výkres sestavy E-rámu se všemi komponenty
BP-00-K	Kusovník k výkresu sestavy E-rámu se všemi komponenty
BP-00-01	Výkres podsestavy E-rámu s polohovadly
BP-00-01-K	Kusovník k výkresu podsestavy E-rámu s polohovadly
BP-00-01-03	Výkres podsestavy koníku
BP-00-01-03-K	Kusovník k výkresu podsestavy koníku
BP-00-01-03-01	Výkres svařence podstavce
BP-00-01-03-01-K	Kusovník k výkresu svařence podstavce
BP-00-01-03-01-01	Výrobní výkres spodního plechu svařence podstavce
BP-00-01-03-01-02	Výrobní výkres uzavřeného profilu svařence podstavce
BP-00-01-03-01-03	Výrobní výkres poklopu svařence podstavce
BP-00-01-03-02	Výrobní výkres válce pro ložiska
BP-00-01-03-03	Výrobní výkres otevřeného víka ložisek
BP-00-01-03-04	Výrobní výkres uzavřeného víka ložisek
BP-00-01-03-05	Výrobní výkres příruby uložení ložisek
BP-00-01-03-06	Výrobní výkres příruby koníku
BP-00-01-03-07	Výrobní výkres malé příruby koníku
BP-00-01-03-08	Výrobní výkres hřídele
BP-00-01-03-09	Výrobní výkres distanční trubky
BP-Layout	Schematický náčrt celého svařovacího pracoviště

Elektronické přílohy na CD

3D model navrženého pracoviště a rámu (.stp)

Výkresová dokumentace navrženého rámu (.pdf)

Textová část práce (.pdf)

Výpočty variant délek a naklopení podstavců (.xlsx)