

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Návrh úchopné hlavice pro manipulaci se svařencem

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hrubý** Jméno: **František** Osobní číslo: **492485**
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 úchopné hlavice pro manipulaci se svařencem

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a robot gripper for weldment handling

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Konstrukční návrh úchopné hlavice pro manipulaci se zadaným svařencem. Svařenec bude mít charakter trubkového charakteru (příčný průřez 80 x 190 x 2,7 mm). Provedený svár bude podélný, po celé délce trubky (šev). Uchopený svařenec musí být připraven na svařování kooperujícím svařovacím robotem. Manipulace musí umožnit přístup ke svaru po celé délce svařence na jedno upnutí. Délky svařenců nebudou přesahovat cca 1,2 m a hmotnost cca 12 kg.; Osnova práce: Uvedení do řešené problematiky; provedení rešerše; návrh řešení; návrhové výpočty; zhodnocení. Rozsah grafické části: Potřebné obr., tab., graf., 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníku, výrobní výkresy dle upřesněného zadání.; Rozsah textové části: cca 40 – 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. 1. Brno: VUTUM, 2016. 294 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
KOLÍBAL, Z. Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavice a periférií. VUT Brno. Brno, 1993. 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
SKAŘUPA, J. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Vysoká škola báňská–Technická univerzita. Ostrava, 2007, 1 CD-R [cit. 2022-01-19]. ISBN 978-80-248-15522-0.

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: **30.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

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

Čestné prohlášení

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

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

V Praze dne 25. 5. 2022

.....

podpis

Poděkování

Bakalářská práce byla zpracována na Ústavu výrobních strojů a zařízení, Fakultě strojní, ČVUT v Praze na podnět firmy ABB Robotics, s. r. o.

Tímto bych chtěl poděkovat za podporu při řešení práce. Dík patří zejména vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Andrlíkovi, CSc. a mému konzultantovi, zástupci z firmy ABB, Ing. Lukáši Hulínskému. V neposlední řadě bych rád poděkoval i Ing. Tomáši Krannichovi, Ph.D. za odborné konzultace k dané problematice.

Anotace

Autor:	František Hrubý
Název BP:	Návrh úchopné hlavice pro manipulaci se svařencem
Rozsah práce:	85 str., 65 obr., 1 tab.
Školní rok:	2022
Škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultant:	Ing. Lukáš Hulínský
Zadavatel:	ABB Robotics, s. r. o.
Využití:	Úchopná hlavice s pneumatickým pohonem pro robota ABB IRB - 7600 pro manipulaci se svařovaným ocelovým profilem.
Klíčová slova:	úchopná hlavice, manipulace se svařencem, automatizace svařování, upínání, senzory
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá rešerší a návrhem úchopné hlavice pro robot ABB IRB - 7600. První, rešeršní, část analyzuje dnešní řešení průmyslových úchopných hlavic. Následující praktická část je zaměřena na návrh konstrukce modelu dle zadání.

Annotation

Author:	František Hrubý
Title of bachelor thesis:	Design of a robot gripper for weldment handling
Extent:	85 p., 65 fig., 1 tab.
Academic year:	2022
University:	Czech technical university in Prague, Faculty of Mechanical engineering
Department:	Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Lukáš Hulínský
Submitter of the Theme:	ABB Robotics, s. r. o.
Application:	Pneumatic robot gripper for ABB IRB 7600 robot for weldment handling.
Key words:	robot gripper, weldment handling, welding automation, clamping, sensors
Annotation:	The bachelor thesis consists of research and construction of a pneumatic gripper for ABB IRB - 7600 robot. The first part provides an overview of known robot grippers. The second part describes the construction of a model according to the assignment.

Přehled použitých veličin

Veličina	Jednotka	Význam
a	[mm]	Délka strany čtverce
c	[mm]	Vzdálenost působíště síly
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
f	[-]	Součinitel tření
F_1	[kN]	Síla na boční stěnu profilu
F_{1s}	[kN]	Minimální síla na boční stěnu profilu
F_2	[kN]	Síla na vrchní stěnu profilu
F_{2s}	[kN]	Minimální síla na vrchní stěnu profilu
F_s	[N]	Síla namáhající ramínko na stříh
i	[-]	Počet šroubů DIN 580
J	[mm^4]	Kvadratický moment průřezu
k_c	[-]	Koeficient bezpečnosti
l	[mm]	Délka ramínka
m	[kg]	Hmotnost
$m_{hlavice}$	[kg]	Hmotnost hlavice
m_i	[kg]	Nosnost šroubu DIN 580
M	[Nmm]	Kroutící moment ramínka
p	[MPa]	Tlak

Veličina	Jednotka	Význam
R_m	$[N/mm^2]$	Mez pevnosti
$R_{P\ 0,2}$	$[N/mm^2]$	Mez kluzu
S	$[mm^2]$	Plocha průřezu
σ_k	$[N/mm^2]$	Napětí na mezi kluzu
τ	$[N/mm^2]$	Napětí ve stříhu
τ_D	$[N/mm^2]$	Napětí ve stříhu dovolené
τ_k	$[N/mm^2]$	Napětí ve stříhu kritické
u	$[mm]$	Posunutí
u_D	$[mm]$	Dovolené posunutí
x	$[mm]$	Vzdálenost působíště síly

Seznam zkratk

Doraz 63	Doraz pro ramínko na upínacím válci $\varnothing 63$
Doraz 80	Doraz pro ramínko na upínacím válci $\varnothing 80$
PRaM	Průmyslové roboty a manipulátory
Ramínko 63	Ramínko montované na upínací válec $\varnothing 63$
Ramínko 80	Ramínko montované na upínací válec $\varnothing 80$
Schimsy	Schims paket

Obsah

Přehled použitých veličin.....	7
Seznam zkratek	8
Obsah	9
1 Úvod	12
2 Cíle práce.....	12
3 Průmyslové roboty a manipulátory	13
3.1 Roboty se sériovou kinematikou.....	13
3.1.1 Šestiosé průmyslové roboty	13
3.1.2 Paletizační průmyslové roboty.....	14
3.1.3 Roboty SCARA	14
3.2 Roboty s paralelní kinematikou	15
4 Koncové efekty	16
4.1 Technologické hlavice	16
4.1.1 Dělení materiálu.....	17
4.1.2 Obrábění.....	17
4.1.3 Povrchové úpravy	18
4.1.4 Spojování materiálů	18
4.2 Manipulační hlavice	19
4.2.1 Podtlakové úchopné prvky.....	19
4.2.2 Magnetické úchopné prvky.....	21
4.2.3 Mechanické úchopné prvky	23
4.2.4 Speciální úchopné prvky.....	25
4.3 Kombinované hlavice.....	25
4.4 Speciální hlavice	26

5	Závěr rešeršní části	27
6	Představení vlastního řešení	28
6.1	Manipulovaný objekt	28
6.2	Problematika úchopu.....	30
6.3	Kooperující roboty	30
6.3.1	Robot ABB IRB 7600 – 500 / 2.55.....	31
6.3.2	Robot ABB IRB 1600 – 10 / 1.45.....	32
7	Návrh úchopné hlavice	33
7.1	Postup upínání profilu.....	35
7.2	Přítlačné síly.....	36
7.2.1	Stanovení velikosti přítlačných sil.....	37
7.3	Pohyblivé členy	40
7.3.1	Pneumatický obvod.....	40
7.3.2	Ventilový terminál	42
7.3.3	Válce s vedením.....	43
7.3.4	Kopyta.....	45
7.3.5	Upínací válce	46
7.3.6	Přítlačná ramínka	50
7.3.7	Dorazy ramínek.....	52
7.4	Rám hlavice.....	53
7.4.1	Těleso rámu.....	53
7.4.2	Materiál rámu.....	55
7.4.3	Připojení k robotu	55
7.4.4	Nosné „L“ profily	56
7.4.5	Měnitelné kontaktní plochy	57
7.4.6	Schimsy.....	58

7.4.7	Ochrana proti rozstříku	59
7.4.8	Klec pro ventilový terminál	60
7.4.9	Spojovací materiál	61
7.4.10	Kalibrační hroty	64
7.5	Senzorika.....	64
7.5.1	Kontrola přítomnosti dílce	65
7.5.2	Schéma zapojení senzorů	66
7.6	Návrhové výpočty	68
8	Výsledná manipulační hlavice.....	73
8.1	Ukázka kooperace robotů.....	74
9	Závěr.....	75
	Reference	78
	Seznam použitých obrázků	81
	Seznam použitého softwaru	84
	Seznam příloh	84

1 Úvod

Rozvoj průmyslové automatizace by byl v dnešní době nemožný bez průmyslových robotů a manipulátorů (zkráceně PRaM). Jedním ze základních procesů automatizace je manipulace. Existuje celá řada způsobů, jak zajistit tok součástí mezi jednotlivými operačními stanovišti. Roboty či manipulátory s koncovými efekty (úchopnými hlavicemi) jsou jednou z možností pro manipulaci objektů. Díky hlavici může robot vzájemně interagovat s okolím a plnohodnotně se zapojit do průmyslového procesu. Práce je zpracována na podnět společnosti ABB jako část řešení jednoho z jejich projektů. Navrhovaná hlavice se podílí na technologické operaci svařování.

2 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout úchopnou hlavici pro manipulaci se svařencem. Svařencem je myšlen polotovar ocelového profilu s obdélníkovým průřezem (tzv. „jekl“). Hmotnost profilu odpovídá přibližně $m = 12$ kg. Navrhovaný koncový efektor bude plnit dvě hlavní funkce. Zajistí manipulaci dílce do svařovacího prostoru a poslouží i jako upínací přípravek. Nakonec hotový svařenec vrátí zpět na dopravníkový pás. Chapadlo se pomocí příruby připojí k robotu **IRB – 7600** společnosti **ABB**. Mechanické čelisti do pohybu uvedou pneumatické válce.

Rešeršní část práce se zabývá základním přehledem průmyslových robotů a manipulátorů. Dále obsahuje zpracované rozdělení koncových efektorů. Detailněji se zaměřuje na pracovní efekty technologické a manipulační, konkrétně manipulační hlavice s mechanickými prvky a jejich v dnešní době dostupné varianty.

Konstrukční část práce popisuje návrh mechanické úchopné hlavice. Je zde řešeno dimenzování velikosti přitlačných sil. Dle výsledků jsou vybrány pneumatické pohony. Navrhován je nosný rám, u kterého je kladen důraz zejména na nízkou hmotnost a co nejmenší výrobní náklady. Hlavice je také osazena indukčními senzory pro detekci přítomnosti manipulovaného dílce. Výpočtem je ověřena správnost návrhu některých komponent hlavice. V závěru práce bude ukázána kooperace dvou robotů s navrženou hlavicí a její zhodnocení.

3 Průmyslové roboty a manipulátory

Pojmem průmyslový robot se rozumí počítačem řízený kinematický mechanismus umožňující pohyb koncovému efektoru (pracovní jednotce robota). Tato kinematická soustava průmyslových robotů se skládá z jednotlivých os vykonávajících rotační, respektive translační pohyby. Průmyslové roboty a manipulátory nahrazují člověka při monotónní, namáhavé a často nebezpečné práci. Lze je rozdělit dle stavby jejich kinematického řetězce na PRaM se sériovou či paralelní kinematikou. Dále je můžeme dělit například podle nosnosti, počtu pracovních os, rychlosti, přesnosti nebo zrychlení v jednotlivých osách.

3.1 Roboty se sériovou kinematikou

3.1.1 Šestiosé průmyslové roboty

Nejrozšířenějším typem průmyslových robotů jsou v dnešní době šestiosé roboty. Ramena robotů jsou propojena rotačními klouby. Tato kinematická struktura se nazývá angulární, též označovaná jako RRR (rotace, rotace, rotace). Pracovní prostor tvoří průnik kruhových segmentů. Výhodou tohoto řetězce je především jeho vysoká efektivita využití prostoru. Moderní roboty již mají zabudovány elektrické, hydraulické či pneumatické systémy k připojení koncových efektorů ve svých konstrukcích, což napomáhá zvyšovat rozsah a efektivitu jejich pohybu. Průmyslové roboty se šestiosou sériovou kinematikou se využívají například pro svařování, lakování nebo manipulaci (obr. 3-1). [1], [2]



Obrázek 3-1: Šestiosý průmyslový robot od firmy ABB, model IRB 7600 [3]

3.1.2 Paletizační průmyslové roboty

Paletizační průmyslové roboty (obr. 3-2) jsou z konstrukčního hlediska odvozeny z klasických šestiosých robotů. Vynechává se zde šestá, nebo ve specifických případech i pátá osa. Tyto roboty zajišťují manipulační úkony a paletizaci. Jejich hlavní výhodou oproti ostatním průmyslovým robotům je velmi vysoká maximální nosnost a velikost užitého pracovního prostoru. Roboty určené jako paletizační jsou navíc vybaveny paralelogramem, který zvyšuje jejich tuhost. [1]



Obrázek 3-2: Paletizační robot IRB 660 od společnosti ABB [4]

3.1.3 Roboty SCARA

Roboty typu SCARA (anglická zkratka pro „*Selective Compliance Assembly Robot Arm*“). Kinematicky se jedná o řetězec RRT (rotace, rotace, translace). Pohyby v horizontálním směru zabezpečují tři rotační klouby, ve vertikálním směru pohyb vykonává poslední rameno. Roboty SCARA vynikají svou přesností polohování a vysokou rychlostí, proto jsou v průmyslu používány jako montážní roboty. Oproti předchozím průmyslovým robotům mají tyto nižší nosnost. Obr. 3-3 vyobrazuje příklad tohoto robota. [1]



Obrázek 3-3: Robot typu SCARA IRB 910SC od společnosti ABB [5]

3.2 Roboty s paralelní kinematikou

Průmyslové roboty s paralelní kinematikou vynikají výbornou tuhostí. Díky ní se v soustavě objevují nižší vibrace a tím se zvyšuje přesnost polohování s vyšší rychlostí pohybu v porovnání s průmyslovými roboty a manipulátory s kinematikou sériovou. Roboty tohoto typu mívají tři až šest stupňů volnosti. Bývají umístěny především nad linkou a jsou využívány jako manipulátory. Typickým představitelem robota s paralelní kinematikou je robot DELTA (obr. 3-4). [2]



Obrázek 3-4: Delta robot od společnosti ABB [6]

4 Koncové efekty

Kinematický řetězec průmyslových robotů a manipulátorů musí být zakončen pracovním prvkem (koncovým efektem). Základními požadavky na jeho konstrukci jsou minimální hmotnost, rozměry, provozní bezpečnost a spolehlivost. Připojen na PRaM je přes rozhraní pro připojení efektoru (např. příruby). Typ koncového efektoru je volen dle pracovní náplně robota. Jedná se například o tyto procesy:

- Technologické operace
- Vkládání a vyjímání objektů z pracovního prostoru výrobních strojů a zařízení
- Mezioperační manipulace
- Kontrolní operace
- Speciální práce

Bez tohoto zakončení by průmyslový robot, respektive manipulátor, nemohl interagovat s okolím. Z konstrukčního hlediska můžeme výstupní hlavice průmyslových robotů a manipulátorů rozdělit na typy:

- Technologické
- Manipulační (také se označují jako „chpadla“ a tato práce se bude zabývat převážně jimi)
- Kombinované
- Speciální [7]

4.1 Technologické hlavice

Technologické výstupní hlavice tvoří přímo konkrétní nástroj pro danou technologickou operaci. Tyto koncové efekty dělíme dle druhu technologické operace, kterou vykonávají. Rozlišují se výstupní hlavice například pro operaci:

- Dělení materiálu
- Obrábění materiálu
- Povrchové úpravy
- Spojování materiálů

4.1.1 Dělení materiálu

Dělení materiálu může probíhat různými technologiemi a podle toho je vybaven i příslušný koncový efektor správným nástrojem. U mechanického dělení jsou to například nůžky. Dále může být hlavice tvořena laserem pro dělení laserovým paprskem (obr. 4-1) či uzpůsobena k dělení materiálu vodním nebo plazmovým paprskem atd. [8]



Obrázek 4-1: Robotický koncový efektor pro laserové řezání. [9]

4.1.2 Obrábění

Soustružení, frézování, vrtání a další operace zvládne vykonat průmyslový robot za pomoci obráběcího koncového efektoru (obr. 4-2). Kvůli své nižší tuhosti však průmyslové roboty nedosahují takové výrobní přesnosti jako klasické obráběcí stroje, a proto je v dnešní době obrábění na obráběcích strojích stále upřednostňováno. [10]



Obrázek 4-2: Příklad obrábění robotickou hlavicí, zde konkrétně frézování [11]

4.1.3 Povrchové úpravy

Nejčastějšími zástupci robotů ze skupiny povrchových úprav jsou roboty lakovací. Nahrazují lidskou práci v hygienicky nepříznivých pracovních prostředích (např. zvýšená prašnost, kontakt s toxickými látkami atd.). Zároveň dosahují přesnějších výsledků požadovaných tloušťek a rovnoměrnosti nanášených vrstev. Koncové efekторы pro technologii povrchových úprav slouží jak už ke zmíněnému lakování (obr. 4-3), tak k předpřípravě povrchů, nanášení ochranných látek nebo nátěrových hmot. [12]



Obrázek 4-3: Lakovací technologická hlavice [13]

4.1.4 Spojování materiálů

Technologické výstupní hlavice specializované na spojování materiálů mohou spojovat materiály technologií svařování (obr. 4-4), lepení, pájení atd. Nejrozšířenějším typem spojování materiálů je tavné elektrické svařování – obloukové svařování nebo odporové bodové svařování, které je hojně zastoupeno v automobilovém průmyslu. [14]



Obrázek 4-4: Svařovací hlavice na průmyslovém robotu [15]

4.2 Manipulační hlavice

Manipulační (úchopné) výstupní hlavice slouží k uchopení objektů za účelem další manipulace s nimi. Jedná se o nejrozšířenější skupinu koncových efektorů. Jsou převážně konstruovány pro jednotlivé aplikace přímo uživateli průmyslových robotů a manipulátorů. Při uchopení dojde ke znehybnění objektu oproti chapadlu. Rozeznávat jednotlivé úchopné hlavice lze dle jejich způsobu vyvozování úchopné síly na aktivní a pasivní, dle kvality kontaktu na silové a tvarové držení, či dle umístění kontaktní roviny na uchopení jednostranné, oboustranné, třístranné a plošné. Části hlavic, které přicházejí bezprostředně do styku s přenášenými objekty, se označují jako „úchopné prvky“. [7]

Dělení úchopných prvků

Podle charakteru styku s objekty při aktivování úchopné síly se úchopné prvky dělí na:

- Podtlakové
- Magnetické
- Mechanické

Současně je možno dělit úchopné prvky na:

- Pasivní
- Aktivní

Pasivní úchopné prvky nemohou samy o sobě, na rozdíl od prvků aktivních, ovládat úchopnou sílu. Úchopné hlavice, které jsou vytvořeny jen z pasivních prvků, mohou většinou objekt uchopit, ale k uvolnění dojde jedině po vnějším zásahu.

4.2.1 Podtlakové úchopné prvky

Pasivní podtlakové prvky

Pasivními podtlakovými prvky se rozumí pružné deformační přísavky. Princip úchopu funguje následovně: Přísavka se přitlačí na povrch předmětu, tím se její pružné stěny zdeformují a zmenší svůj prostorový objem. Po uchopení se vnitřní prostor přísavky zvětší, a tím vznikne žádaný podtlak. Úchopná síla závisí jednak na styčné ploše přísavky a uchopovaného objektu, jednak na tvaru a tuhosti přísavky. Stanovení celkové úchopné

síly je třeba provést experimentálně, při čemž je nutno respektovat parametry udávané výrobcem přísavky.

Pro větší úchopné síly se využívají tužší přísavky, jelikož vyžadují větší sílu pro svou deformaci. To však omezuje jejich použitelnost v případech, kdy hrozí nebezpečí, že by mohl být předmět nadměrnou podtlakovou silou poškozen. Podmínkou pro bezpečné uchopení předmětu je vysoká těsnost styku přísavky s plochou manipulovaného objektu. Ta závisí především na hladkém a kvalitním povrchu. Z těchto důvodů se deformační přísavky uplatňují při manipulaci s předměty typu rovných desek, například plechové a skleněné tabule, apod. Pro zaručení těsnosti styku přísavky s povrchem může být použito viskózních tekutých látek, které se před kontaktem přísavky s povrchem manipulovaného tělesa rozstříkují do prostoru styku.

Velikou výhodou úchopných hlavice s deformačními přísavkami je jejich jednoduchost. Přitom mohou pracovat jak v plynném, kapalném, tak případně ve výbušném prostředí. [7]

Aktivní podtlakové prvky

Mezi aktivní úchopné výstupní hlavice průmyslových robotů a manipulátorů patří podtlakové systémy, jež se také označují jako podtlakové komory a využívají ke své činnosti vývěvy nebo ejektory. Ejektor je odsávací nebo čerpací tryskové zařízení, které je poháněno proudem vody, plynu nebo páry. Při použití vývěvy se připojuje na společné odsávací vedení i více podtlakových komor. Velikost podtlaku je dána typem vývěvy. U úchopných hlavice s ejektorem se používá buď připojení několika podtlakových komor na společný ejektor, nebo je každá komora vybavena samostatným ejektorem. V druhém případě tvoří většinou podtlaková komora s ejektorem jeden celek.

Řešení pomocí podtlakových hlavice s ejektory má ve srovnání s řešením s vývěvou výhodu několikanásobně nižší ceny, avšak použití ejektorů vyžaduje velikou spotřebu stlačeného vzduchu. Ejektory jsou tím pádem vhodnější pro menší úchopné hlavice.

Problémem při použití podtlakových hlavice při manipulaci s plechy či tabulemi skla je oddělování předmětů po jejich uchopení. Řešení spočívá v přidání pohybu v tangenciálním směru do pracovního cyklu, kterým se vždy horní plech sesune.

Vlastní konstrukce podtlakových komor není složitá. U jednodušších provedení je možné podtlakovou komoru vytvořit z pryžového kotouče, který se stažením mezi kovové vložky zdeformuje do nálevkovitého tvaru. Odsávací vedení se připojí na montážní šroub s průchozím otvorem. Dokonalejší, zejména pokud jde o těsnost, jsou podtlakové komory vytvarované průmyslově ve vulkanizačních formách. Podtlaková úchopná hlavice (obr. 4-5) sestává z jedné nebo více podtlakových komor s příslušným uložením a vybavením. [7]



Obrázek 4-5: Podtlaková úchopná hlavice s přísavkami, VG10, firma OnRobot [16]

4.2.2 Magnetické úchopné prvky

Pasivní magnetické prvky

Jedná se o úchopné prvky vybavené permanentními magnety. Používají se při manipulaci s magnetickými předměty většinou menších rozměrů a hmotností, například plechové výlisky, kroužky, podložky a podobně. Velkou předností je především jednoduchá konstrukce, která je obvykle složena ze vsazených tyčových permanentních magnetů. Počet a rozmístění magnetů se individuálně přizpůsobí tvaru předmětu a požadované úchopné síle. Nevýhodou pasivních magnetických úchopných hlavic jsou zvýšené požadavky na přídatné mechanismy pro oddělení uchopených předmětů od efektoru. V nejjednodušších případech se uchopené předměty uvolní tangenciálním pohybem ramene robotu, kdy se chapadlo stáhne z předmětu. Objekt je přitom zadržen zárážkou, dorazem nebo zachycen spolukomunikujícím zařízením. Převážná část magnetických chapadel s permanentními magnety využívá k uvolnění uchopených

předmětů vlastní mechanismus. Tato přidaná funkce je již řízená, a tím se fáze uvolňování stává aktivní.

Hlavní nevýhodou je možnost zachytávat i jiné nežádoucí magnetické předměty, hlavně drobné částice, což se v některých případech může projevit narušením správné polohy uchopovaného předmětu. Magnety také při práci ve vyšších teplotách degradují. [7]

Aktivní magnetické prvky

Magnetické úchopné hlavice s aktivními prvky využívají elektromagnetů napájených stejnosměrným proudem (obr. 4-6). Funkce je obdobná jako u pasivních hlavice. Rozdíl oproti pasivním magnetickým hlavicím s permanentními magnety je v uvolňování součástek z efektoru. Není potřebný tangenciální strhávací pohyb. Stačí vypnout přívod proudu do elektromagnetu, jehož budicí vinutí bývá někdy uloženo přímo ve stykové desce.

Působením stejnosměrného magnetického pole se objekt při uchopení zmagnetuje, což může působit potíže při jeho uvolňování. Proto se většinou po přerušení přívodu proudu provádí odmagnetování krátkodobým obrácením směru proudu v magnetických cívkách. Tím se zruší zbytkový magnetismus v objektu, což usnadní uvolnění objektu z hlavice. [7]

Nevýhodou je z bezpečnostního hlediska potenciální pád břemene při výpadku elektrického proudu, který přeruší elektromagnetické pole.



Obrázek 4-6: Magnetický úchopný koncový efektor [17]

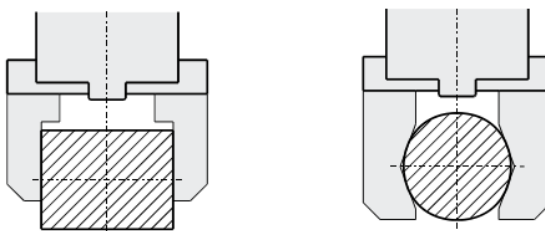
4.2.3 Mechanické úchopné prvky

Pasivní mechanické prvky

Úchopné hlavice s mechanickými pasivními prvky patří k nejjednodušším a nejlevnějším řešením manipulační problematiky. Pasivní prvky mechanických hlavic fungují nejčastěji na bázi mechanických pružin, které vyvinou potřebnou uchopovací sílu. Velikost a počet pružin závisí na požadované výsledné síle pro konkrétní aplikaci. Další variantou jsou například prizmatická lůžka. Vzhledem k většinou jednoduchému kontaktu s objektem je pro bezpečný provoz nutné zajistit vyšší míry bezpečnosti oproti hlavicím aktivním. Koeficienty bezpečnosti se běžně pohybují v hodnotách $k_c = 5 \div 8$ a více. Především díky své relativně nízké ceně se jedná o hojně rozšířený typ v oblasti jednoduchých manipulátorů. [18]

Aktivní mechanické prvky

Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou mechanismy, které jsou často označovány jako „chapadla“. Základními komponentami jsou nosný rám, motory, transformační bloky, úchopné prvky a senzory. Důležité vlastnosti rámu jsou jeho tuhost, kompaktnost a co nejmenší hmotnost. Fixuje se pomocí příruby na průmyslový robot nebo manipulátor. Nejčastějšími typy motorů PRaM jsou pneumatické motory, hydraulické motory nebo například v poslední době stále častější elektromotory. Motor společně s transformačním blokem, je-li zapotřebí, zajišťuje pohon úchopných prvků chapadla. Počet úchopných prvků se odvíjí od konkrétní aplikace a od požadavků na stabilitu a přesnost uchopení. Dalšími důležitými faktory jsou charakter úchopu, rychlost sevření a otevření, cena, bezpečnost nebo kolizní ochrana. Základními druhy úchopu jsou silový úchop, realizován za pomoci tření, a úchop tvarový (prizmatická lůžka apod. – viz obr. 4-7).



Obrázek 4-7: Silový úchop (vlevo) a tvarový úchop s prizmatickými lůžky (vpravo) [19]

Senzorika je při automatické manipulaci nezbytná, zvláště z pohledu bezpečnosti a plynulosti výroby. Sensory kontrolují vzájemnou polohu chapadla ku manipulovanému objektu v čase, či měří působící síly, popřípadě momentová zatížení.

Nejvhodnějším uchopovacím orgánem je lidská ruka. Její technické napodobení je ale velmi obtížné. Jako optimální náhradní model se jeví tříprsté řešení. Pro běžné manipulace s objekty však obvykle postačí dva úchopné prvky (obr. 4-8). [18]



Obrázek 4-8: Mechanická úchopná hlavice se dvěma prsty [20]

Příklady mechanických úchopných hlavic

Prvním vybraným zástupcem aktivní mechanické manipulační hlavice je efektor RG2-FT (obr. 4-9) od společnosti OnRobot. Jedná se o dvouprsté chapadlo s integrovanou senzorikou. Konce prstů obsahují šestiosé senzory síly a momentu, a proto je chapadlo schopné i manipulace s objekty, které nejsou přesně uloženy. [21]



Obrázek 4-9: Úchopná hlavice RG2-FT od společnosti OnRobot [21]

Druhým zástupcem je hlavice EGP (obr. 4-10) od společnosti Schunk. Jde opět o dvouprsté chapadlo s integrovanými senzory. Efektor je navržen jako koncový prvek kolaborativních robotů pro manipulaci s menšími objekty. Je umožněno ruční řízení úchopné síly. Senzory monitorují aktuální polohu chapadla. [22]



Obrázek 4-10: Úchopná hlavice EGP od firmy Schunk [22]

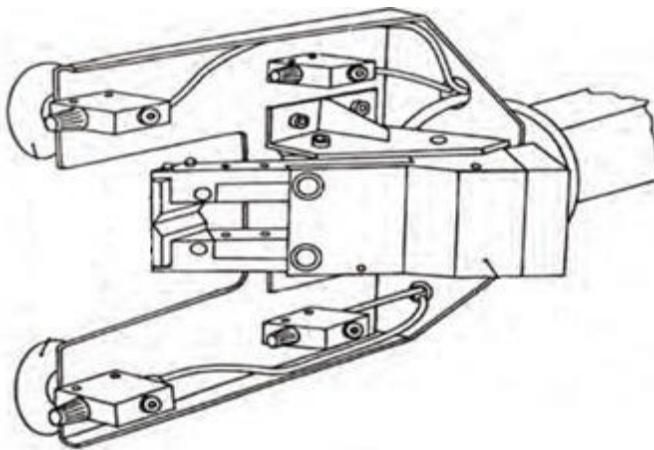
4.2.4 Speciální úchopné prvky

Jako speciální úchopné hlavice označujeme hlavice se speciálními úchopnými prvky. Speciálními nazýváme prvky, které nezařadíme do předešlých kategorií. Za typické speciální úchopné prvky lze považovat například prvky využívající princip deformace tvarově dutých těles. Tělesa jsou vyhotovená z elastického materiálu s nesouměrným průřezovým profilem, s použitím asymetricky rozložených výztuh, a podobně. Takto řešené koncové interaktivní prvky při naplnění tlakovým médiem vykonají prostorový pohyb (na straně tenčí stěny) směrem k povrchu uchopovaného předmětu, přizpůsobí se jeho vnějšímu tvaru a v konečné fázi pohybu vybudí uchopovací sílu. [7]

4.3 Kombinované hlavice

Kombinované výstupní hlavice jsou kombinací dříve zmíněných efektorů. Umožňují konat současně více než jednu operaci. Může se například jednat o dvě a více technologických operací nebo sloučení manipulace s technologickou operací. Tato řešení jsou častá například při montážích či v průběhu technologických operací. Příkladem je efektor manipulující s plastovými odlitky u lisů, kdy jedna část chapadla s objektem

manipuluje a současně druhá část nůžkami odstřihává vtokový nálipek odlitku (na obr. 4-11). [7]



Obrázek 4-11: Kombinované chapadlo [7]

4.4 Speciální hlavice

Jedná se o koncové efekty robotů, které jsou tak specializované, že je nelze přiřadit do žádné z předešlých kategorií. Patří sem koncové hlavice využívané například v medicíně. [7]

5 Závěr rešeršní části

Rešerše závěrečné práce obsahuje pro úvod rozdělení průmyslových strojů a manipulátorů dle jejich kinematiky. Dále se věnuje koncovým efektorům robotů a manipulátorů, převážně úchopným hlavicím, ale také koncovým efektorům technologickým. Popsáno je dělení úchopných hlavic podle charakteru styku s manipulovanými objekty při aktivování úchopné síly a představeny jsou příklady v dnešní době používaných mechanických úchopných hlavic.

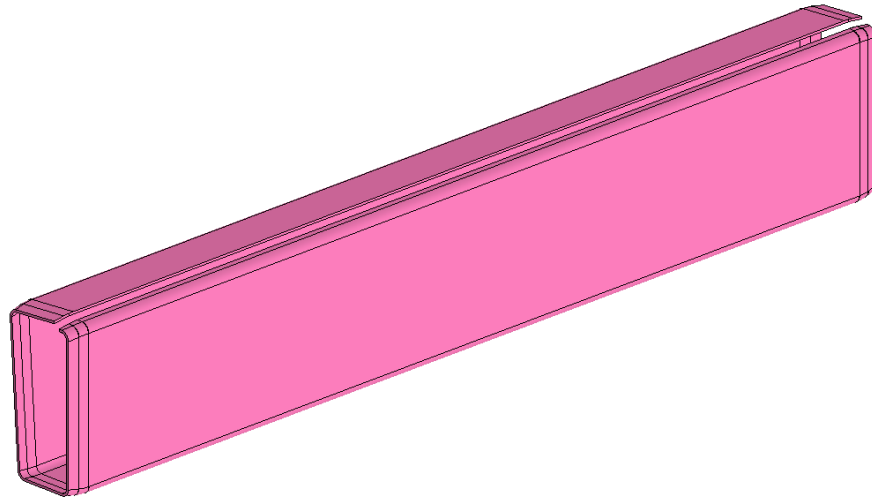
6 Představení vlastního řešení

Během návrhu je nutné vycházet z požadavků na jednoduchou výrobu a finanční efektivitu řešení. Je třeba také myslet na tvarové vlastnosti manipulovaného dílce a požadavky následující technologické operace svařování. Hlavice je navrhována pro průmyslového robota společnosti ABB typu IRB 7600 – 500/2.55.

V této kapitole je představena navržená konstrukce manipulační hlavice. CAD model je tvořen v softwaru Inventor Professional 2022 společnosti Autodesk, simulace v nástavbě softwaru Inventor Nastran 2022.

6.1 Manipulovaný objekt

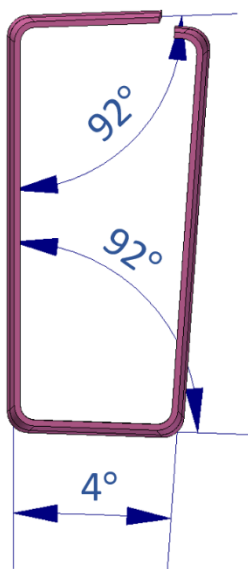
Manipulovaným objektem (obr. 6-1) je čtyřhranný ocelový profil trubkového charakteru s otevřeným obdélníkovým průřezem o rozměrech 190 x 80 x 2,7 – 1107 mm (v zavřeném stavu). Hmotnost profilu je přibližně $m = 12$ kg.



Obrázek 6-1: Manipulovaný profil

Vyráběn je ohýbáním plechu a následně, aby došlo k jeho trvalému uzavření, svařen. Při ohýbání však výrobce neumí zajistit, aby všechny vnitřní úhly profilu byly přesně 90° (obr. 6-2). Vzniklé úhly jsou větší (cca 92°) a dílec je mírně rozevřen.

Dalším mezikrokem ve výrobním procesu proto musí být domáčknutí do ideálního pravoúhlého tvaru, aby se dílec uzavřel a mohl být následně svařen.



Obrázek 6-2: Geometrie manipulovaného profilu ve výchozím stavu, pohled z boku

Profil je vyroben z materiálu HCT980XG (CR700Y980T-DP), vysoce pevné dvoufázové oceli. Ta má vysokou hodnotu meze kluzu $R_{p0,2}$ a meze pevnosti R_m viz tabulka tab. 6-1. Přitom je lehčí a má poměrně vysokou korozivzdornost oproti ocelím stejné pevnosti.

Tabulka 6-1: Porovnání hodnot meze kluzu a pevnosti běžných ocelí s materiálem manipulovaného profilu

Materiál	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [N/mm^2]	Mez pevnosti R_m [N/mm^2]
ocel S235JR	235	360
ocel S275JR	275	430
ocel HCT980XG	700	980

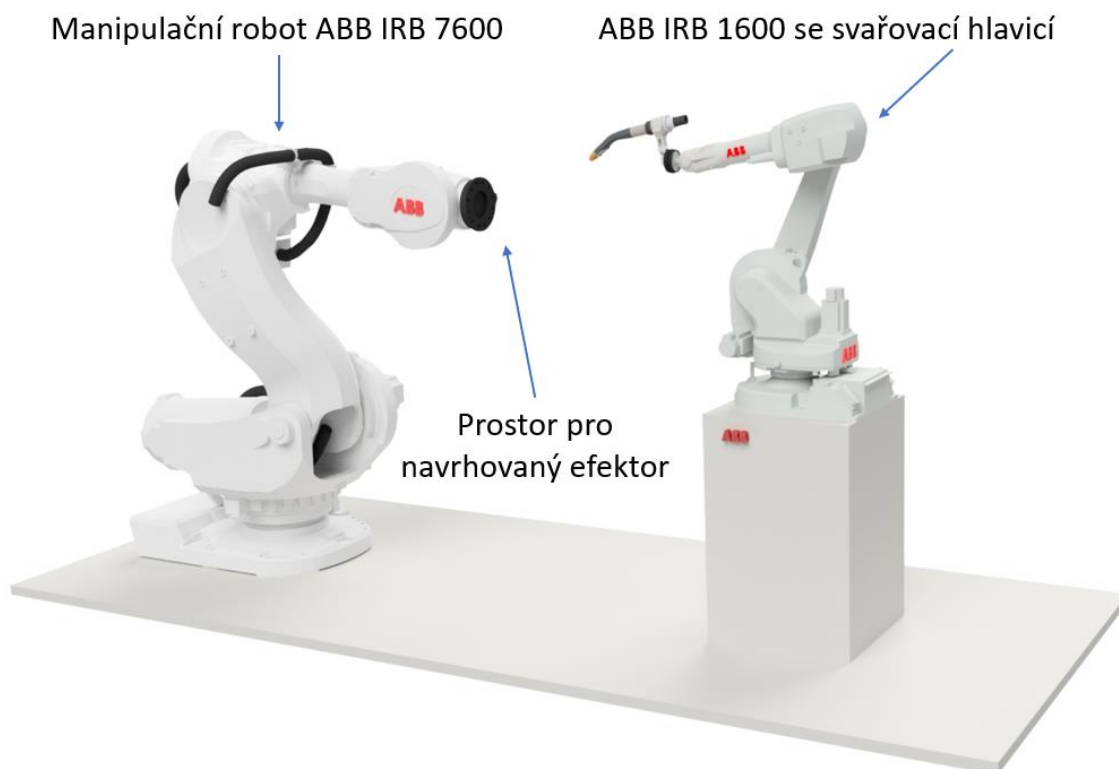
6.2 Problematika úchopu

Manipulační robot IRB 7600 s navrhovanou úchopnou hlavicí musí ocelový profil nabrat z dopravníku a po skončení svařování jej už jako hotový svařenec vrátit zpět. Během manipulace navrhovaný koncový efektor zajistí stisk rozevřeného dílce ve dvou směrech (a přidržení ve směru třetím) až do jeho definitivní podoby. V tomto stavu setrvává až do konce svařovací operace, kde bude zastupovat funkci svařovacího přípravku.

Samotné svařování provede kooperující průmyslový svařovací robot IRB 1600. Navržená úchopná hlavice musí svařovacímu robotu zajistit přístup ke svaru tak, aby mohl vyrobit souvislý koutový svar po celé délce dílce na jedno upnutí.

6.3 Kooperující roboty

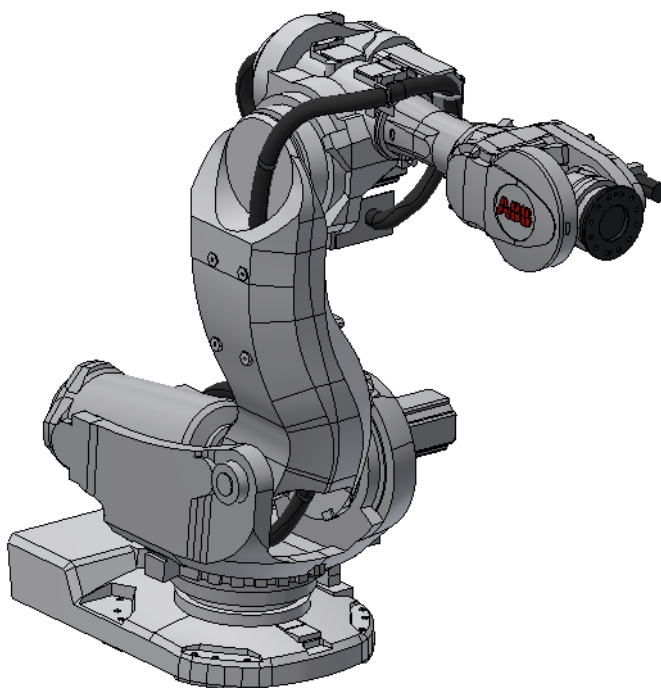
V této kapitole jsou představeny dva roboty účastníci se technologické operace, při níž je použita navrhovaná úchopná hlavice. Roboty spolu budou automaticky kooperovat bez nutnosti zásahu operátora výroby (obr. 6-3). Oba jsou vyrobeny a dodávány společností ABB Robotics, s. r. o.



Obrázek 6-3: Ukázka budoucí kooperace dvou robotů. Manipulační robot ponese navrhovaný efektor

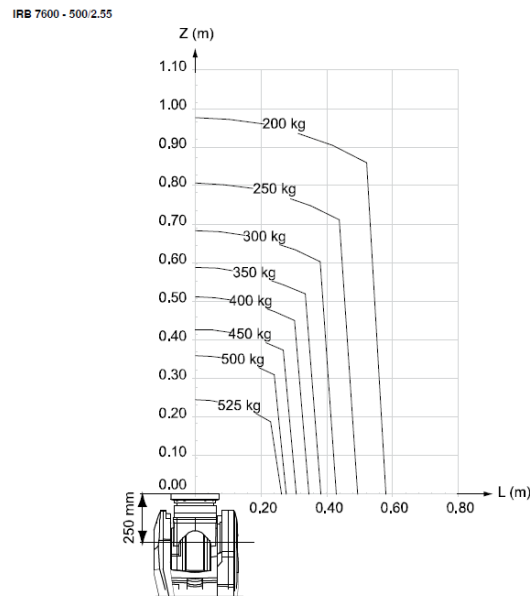
6.3.1 Robot ABB IRB 7600 – 500 / 2.55

Navrhovaný koncový efektor ponese průmyslový šestiosý (angulární) manipulační robot (obr. 6-4).



Obrázek 6-4: Robot ABB IRB 7600 - 500 / 2.55

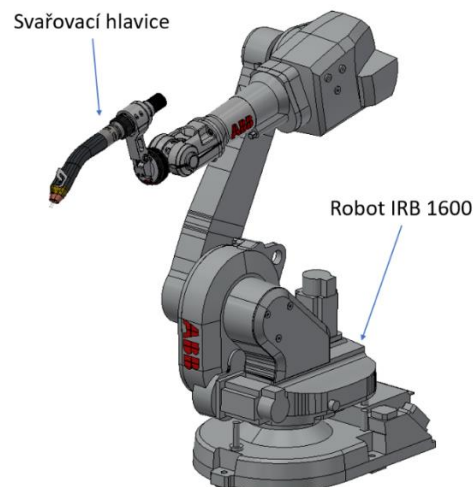
IRB 7600 je označení pro robota s druhou nejvyšší nosností z řady manipulačních robotů v nabídce ABB. Číslo 500 v názvu robota vyjadřuje maximální nosnost robota, tedy 500 kg. Nosnost je ovšem značně závislá na pozici těžiště nesené hlavice od připojovacího rozhraní robota – příruby (obr. 6-5). To bude jedním z klíčových faktorů při postupu návrhu chapadla. Poslední hodnota v označení popisuje velikost pracovního prostoru robota, jeho maximální vyložení dosahuje 2,55 m.



Obrázek 6-5: Diagram nosnosti robota IRB 7600 - 500 v závislosti na poloze těžiště koncového efektoru [23]

6.3.2 Robot ABB IRB 1600 – 10 / 1.45

Svařovací robot IRB 1600 (obr. 6-6) s taktěž angulární kinematikou ponese technologickou svařovací hlavici a provede koutový svar na manipulovaném dílci. Použita je jeho varianta o nosnosti 10 kg a maximálním vyložení 1,45 m. Pro konstrukci manipulační hlavice není dále nijak významný a v práci je uveden pouze pro doplnění kontextu o celé operaci.



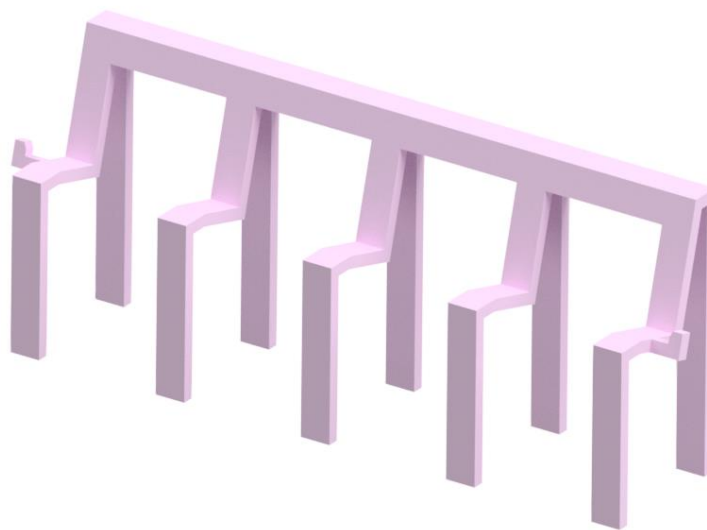
Obrázek 6-6: Robot ABB IRB 1600 - 10 / 1.45 se svařovací hlavici

7 Návrh úchopné hlavice

Během řešení problematiky návrhu úchopné hlavice je potřeba stále myslet na kritické aspekty. Hmotnost hlavice s dílcem nesmí překročit nosnost robota udávanou výrobcem. Žádný komponent hlavice nesmí bránit svařovacímu robotu v přístupu ke koutu na manipulovaném dílci, jenž bude svařován. Dosedací plochy a pohyblivé části musí být seřiditelné. Zajistit je třeba opakovatelnost upnutí. Uchycení dílce hlavicí musí být bezpečné.

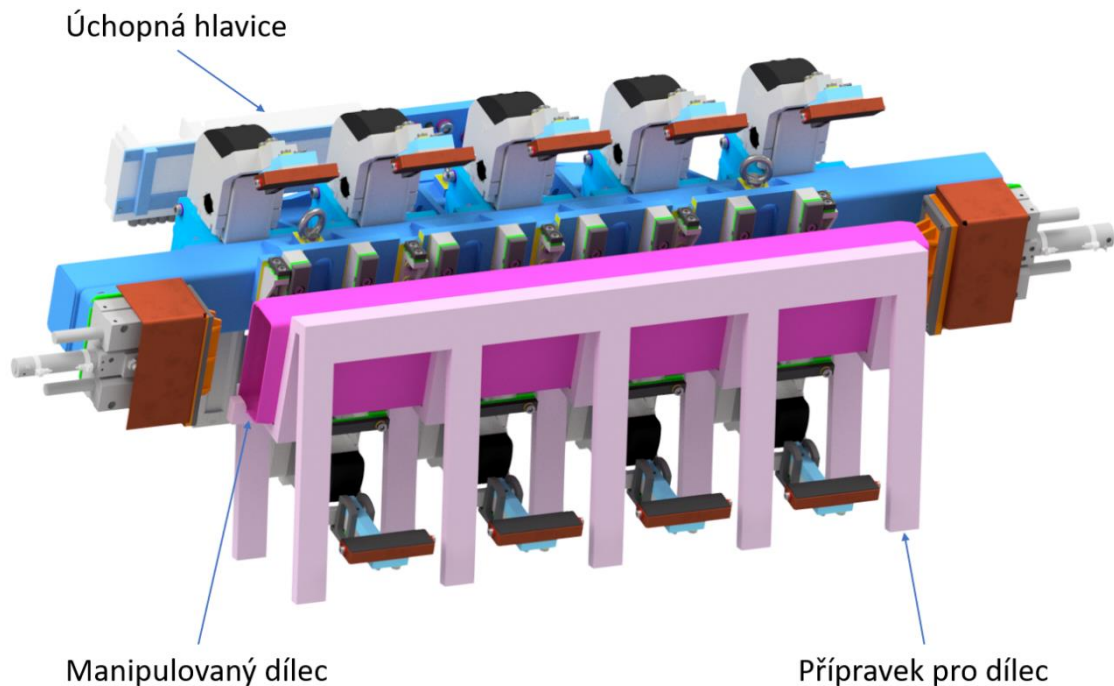
Filozofie postupu při návrhu úchopného efektoru je následující. V prvním kroku je třeba stanovit velikost potřebných přitlačných sil působících na manipulovaný dílec. Dle těchto sil se nadimenzují upínací prvky. Ty se poté v prostoru rozloží kolem dílce. Jejich působení musí být co nejrovnoměrnější. Základní rám hlavice se namodeluje kolem upínacích prvků tak, aby jim poskytl podporu. Na závěr se chapadlo na příhodných místech osadí senzory a umístí se ventilový terminál.

V potaz musí být hned ze začátku brán způsob, jakým hlavice nabere dílec z dopravníku. Z toho důvodu byl řešen i přípravek, na kterém bude manipulovaný profil na dopravníku umístěn. Geometrie hlavice musí korespondovat s navrženým přípravkem (na obrázku obr. 7-1).



Obrázek 7-1: Schematický návrh přípravku, který ponese manipulovaný ocelový profil na dopravníku

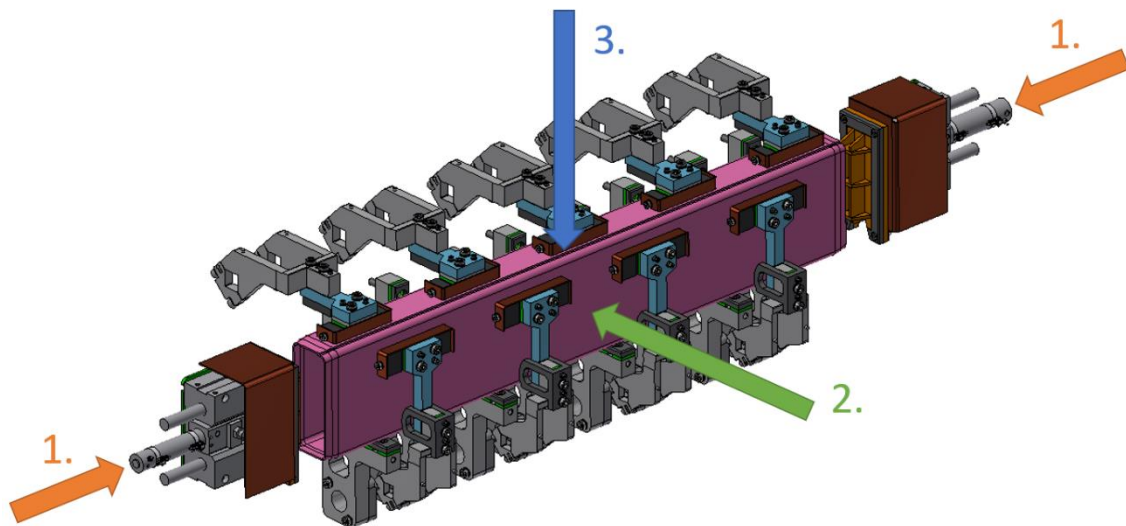
Hlavními prvky jsou dvě na sebe kolmé stěny tvořící žlab, do kterého bude dílec zasazen. Kolmo na pohyb dopravníku a rovnoběžně s osou pohybu robota k dopravníku jsou v přípravku vytvořeny čtyři otvory, do nichž hlavice zajede s ramínky spodních upínacích válců $\varnothing 63$ v pozici otevřeno. Minimální výška těchto otvorů je závislá na koncepci konstrukce spodní strany hlavice. Pro zlepšení stability je třeba držet těžiště přípravku co nejnižší (odvídí se od minimální výšky otvorů). Při návrhu efektoru je s tímto počítáno (obr. 7-2). Vodorovnému pohybu profilu zamezí dvě středící tvarovky, o něž bude z obou boků opřen. Dílce do přípravku bude na předchozím technologickém stanovišti pokládat robot s vysokou přesností.



Obrázek 7-2: Ukázka tvarové kompatibility hlavice s přípravkem pro dílec

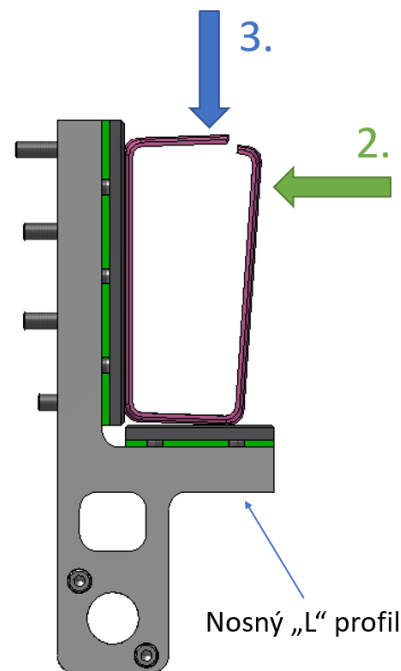
7.1 Postup upínání profilu

Postup upínání profilu znázorněn na obrázcích obr. 7-3 a obr. 7-4. Sestává z následujících kroků:



Obrázek 7-3: Schéma postupu upínání profilu

1. Po najetí robota s hlavicí k lince a podebrání manipulovaného dílce nosnými „L“ profily (na rámu efektoru) z přípravku na výrobní lince se po stranách vysunou válce s vedením nesoucí opěrné části (tzv. kopyta), o která se dílec zapře. Tím se díl vystředí a zároveň pojistí proti vypadnutí z efektoru při následujících operacích.
2. Ve chvíli, kdy se robot natočí do svařecího prostoru, dojde k postupnému domáčknutí dílce upínacími válci (upínkami). Jako první se zavřou upínky zavírající svislou boční stěnu profilu.
3. Následně se upínkami dovře vodorovná vrchní plocha.
4. Dílec je připraven na svařování.
5. Po ukončení svařování se dílec recipročně uvolní a vrátí na linku.



Obrázek 7-4: Schéma postupu upínání profilu, pohled z boku

7.2 Přítlačné síly

Cílem je určit ideální velikost přítlačných sil. Při silách menších, než požadovaných, by nedošlo ke správnému uzavření profilu. Plochy profilu by se nepřekrývaly a nebylo by možné provést koutový svar, popřípadě by překrytí bylo nedostatečné a vzniklý uzavřený profil by nevyhovoval geometrickým požadavkům. Naopak při silách větších by se musely použít zbytečně velké a výkonné pneumatické prvky, pro které by musely být zkonstruovány patřičně tuhé dorazy. S tím je spojena i vyšší pořizovací a výrobní cena a vyšší hmotnost komponent.

Pro zajištění geometrických požadavků na výsledný hotový profil při použití přítlačných sil se jeví jako vyhovující následující dva způsoby řešení:

VARIANTA 1

- Do otevřeného profilu se z boku zasunou přesně tvarovaná kopyta jako protikusy, na které následně z vnější stěny dílce zatlačí pneumatické upínací válce. Problém tohoto řešení spočívá v ohnutých koncích

manipulovaného dílce směrem dovnitř. Tvarované kopyto kvůli kolizi s konci profilu nelze do dílce zasunout. Složitější mechanismus řešící tento problém by nebyl cenově efektivní. Tato varianta tedy nepřichází v úvahu.

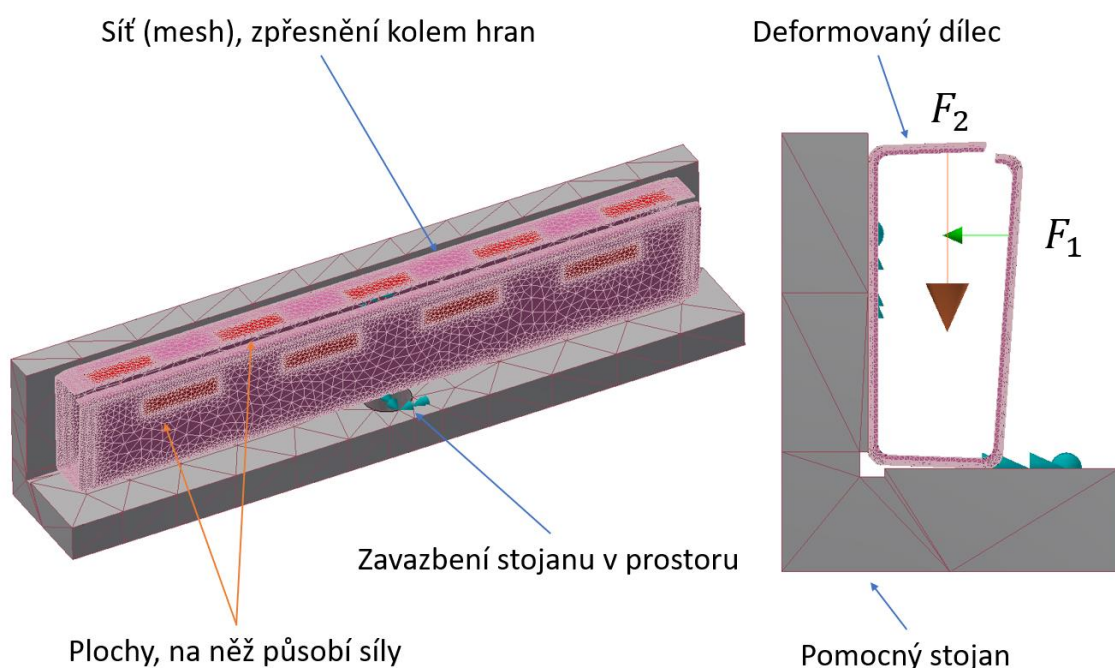
VARIANTA 2

- Ramínka pneumatických upínek s dosedacími destičkami budou určenou silou působit na plochy dílce a tím je deformovat. Pro zajištění optimální geometrie (proti přílišnému promáčknutí ploch) nebude spoléháno pouze na interní dorazy pneumatických upínek, nýbrž se použijí i externí, přesně nastavitelné, pevné dorazy uchycené k rámu.

Pro další postup konstrukce je rozpracována druhá varianta.

7.2.1 Stanovení velikosti přitlačných sil

Velikost potřebných přitlačných sil je stanovena pomocí počítačové simulace v simulační nástavbě Nastran CAD programu Inventor Professional 2022 společnosti Autodesk. Následně jsou hodnoty použity jako finální podklady pro konstrukci. Požadované působící síly v obou směrech stisku jsou zjištěny postupnou iterací.



Obrázek 7-5: Nastavení simulace velikosti přitlačných sil

Parametry simulace

V samotné simulaci participují dva objekty (obr. 7-5). Manipulovaný profil pro svařování v jeho původním otevřeném stavu a pomocný stojan ve tvaru L profilu, jenž představuje kontaktní plochy hlavice (nosné „L“ profily), o které se profil deformuje.

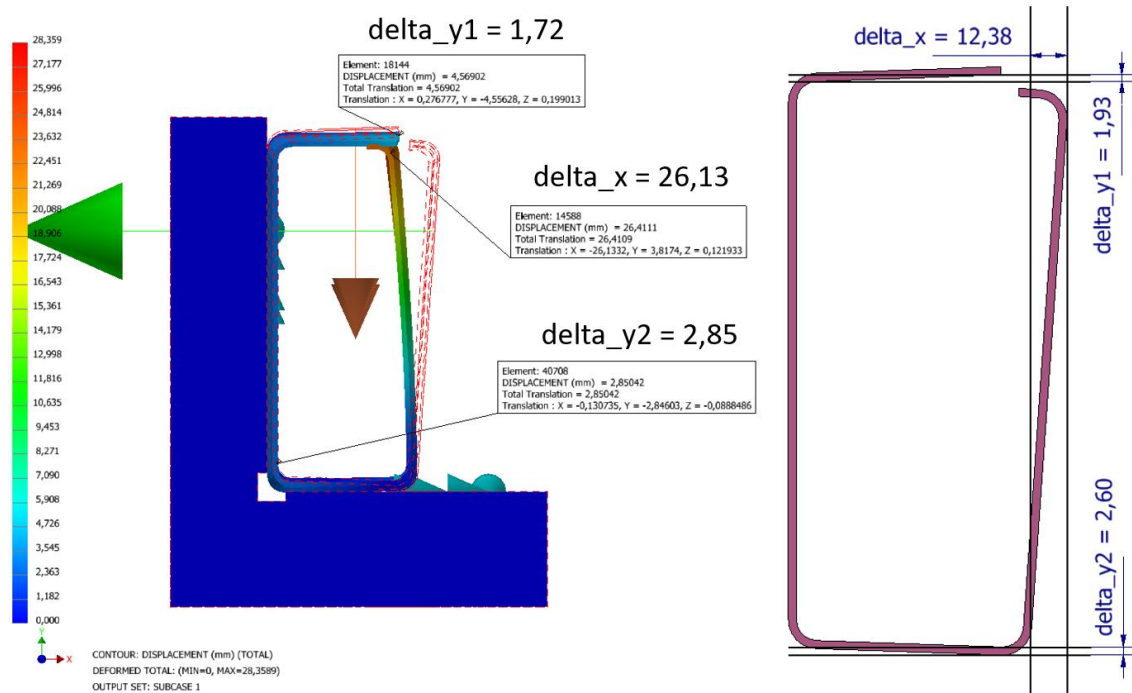
Pomocný stojan je uvažován jako dokonale tuhý a nehybný. Zadefinovány jsou kontaktní plochy profilu s pomocným stojanem se součinitelem tření ocel – ocel, $f = 0,4$. Síť (mesh) je nastavena na velikost 100 mm se zpřesněním sítě kolem všech hran na 3 mm.

Síly působí na boční a horní stěnu dílce v pásech obdélníků, představujících styčné plochy dosedacích destiček pneumatických upínek s dílcem. Natočení ploch o 2° (vnitřní úhel profilu se při zmáčknutí změní z původních 92° na pravý úhel, tedy 90°) je malé a výsledný posuv ploch je považován za lineární. Směr působících sil je tedy po celou dobu zatěžování nastaven jako kolmý na novou polohu posouvané plochy (rovnoběžný se souřadnicovým systémem).

Vyhodnocení simulace

1. Vizually – probíhá kontrola softwarem vykreslené skutečné deformace.
2. Pomocí kontrolních bodů – ve vyznačených bodech je měřeno posunutí v daném směru a porovnává se s požadovanými hodnotami (obr. 7-6). Výsledné hodnoty posunutí musí být větší než požadované.

Finální minimální síla působící na boční plochu profilu je definována jako F_{1s} o velikosti $F_{1s} = 5$ kN. Minimální potřebná síla působící na horní stěnu dílce je definována jako F_{2s} , $F_{2s} = 12$ kN.



Obrázek 7-6: Vlevo výsledná deformace dílce se skutečnými hodnotami posunutí v kontrolních bodech, vpravo požadované hodnoty posunutí

Pro další postup budou minimální síly vycházející ze simulace vynásobeny koeficientem bezpečnosti $k_c = 2$, který vyplývá z praxe.

$$F_1 = F_{1s} * k_c = 5 * 2 = 10 \text{ kN} \quad (7 - 1)$$

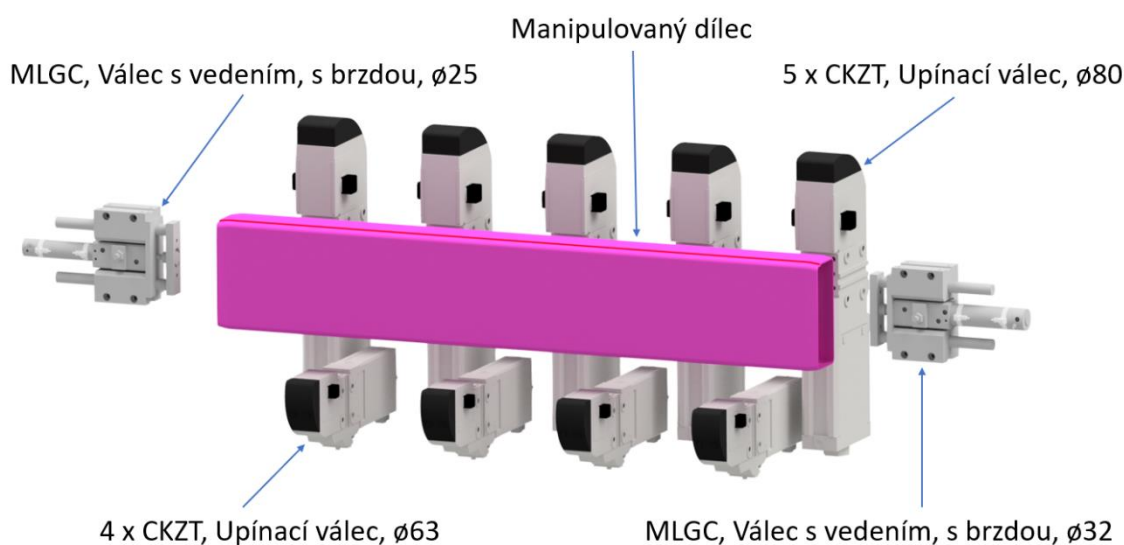
$$F_2 = F_{2s} * k_c = 12 * 2 = 24 \text{ kN} \quad (7 - 2)$$

V návrhu konstrukce a dimenzování upínacích členů bude od tohoto okamžiku pracováno se silami F_1 a F_2 .

Protože síly nepůsobí rovnoměrně v celém souvislém pásu, nýbrž pouze v separovaných obdélnících, dochází ke zvlnění deformovaných stěn. Odchytky zvlnění jsou však v porovnání s velikostí celkového posunutí stěn zanedbatelné. Na zvlnění nebude brán zřetel.

7.3 Pohyblivé členy

Pohyblivé členy úchopného efektoru jsou poháněny pneumotory (obr. 7-7). Tato kapitola představuje jednotlivé použité pneumatické komponenty a na ně navazující komponenty hlavice. Popsáno je zde zapojení pneumatického obvodu. V softwaru PneuDraw společnosti SMC bylo zhotoveno schéma zapojení všech pneumatických komponent umístěných na hlavici. Schéma samotné je součástí příloh bakalářské práce (BP0282-0020-0001-schema pneumatického obvodu).



Obrázek 7-7: Výsledná poloha všech pneumatických válců vzhledem k manipulovanému dílci

7.3.1 Pneumatický obvod

Zdroj vzduchu do efektoru pro ovládání pneumaticky poháněných součástí bude přiveden připojením předpřipravené vzduchové hadice, vedoucí z ramene robota do pneumatického ventilového terminálu umístěného na chapadle. Tlak vzduchu v systému se předpokládá $p = 0,6 \text{ MPa}$.

Z požadavků na upnutí manipulovaného dílce vyplývá potřeba silově působit na konkrétní plochu vždy všemi upínacími členy současně. Při postupném uzavírání upínek by mohlo dojít vlivem rázů k posunutí dílce – nesprávnému upnutí. Vzhledem k velikosti upínacích válců, příliš vysokým nárokům na velikost průtoku vzduchu, je tato

varianta nemožná. Válce jsou spřaženy do logických skupin. Upínání jedné stěny probíhá vždy na dvě fáze, kdy se nejprve zavře jedna skupina upínek, následovaná skupinou druhou.

Upínací válce vyvozující sílu F_1 na svislou boční stěnu jsou zapojeny po dvou dvojicích. Válce působící silou F_2 na vodorovnou horní stěnu profilu jsou ve skupinách jako dvojice a trojice. Toto napojení skupin na jeden ventil bude způsobovat zpoždění pohybu válců, které se v rámci skupiny nepřestaví najednou, nýbrž postupně. Díky rychlosti proudění stlačeného vzduchu budou ale prodlevy malé a zpoždění zanedbatelné.

Provedení, kdy by každý pohon měl svůj ventil, není bráno v potaz. Pracováno je totiž pořád se stejným nedostatečně kapacitním externím zdrojem. Uzavírání upínek by i v tomto případě muselo být řízeno postupně. Navíc by takové množství ventilů bylo cenově neefektivní.

Spřažení je provedeno pouze pneumaticky zapojením válců na jeden společný ventil. Mechanické spojení ramínek dvou a více válců by mohlo vést ke kolizím a k nedefinovaným stavům, tzn. chybám.

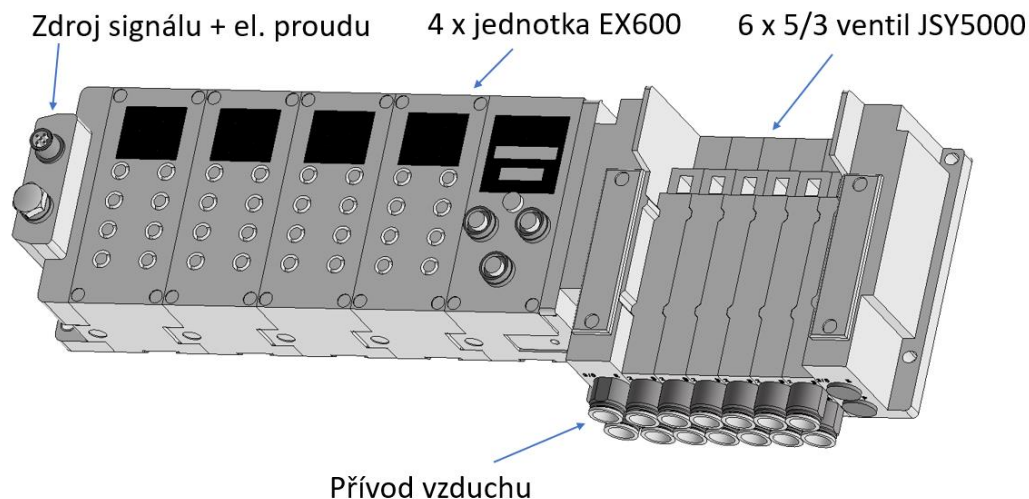
Celkově se jedná o jedenáct pohonů, dva válce s vedením s přesným polohováním vysunutí a devět upínacích válců s výsledným rotačním pohybem. Motory jsou řízeny z ventilového terminálu se šesti elektricky ovládanými ventily. Komponenty a postup při jejich výběru budou v rámci kapitoly „Pohyblivé členy“ popsány později.

Při sestavování obvodu je uvažován ideální zdroj tlakového vzduchu 0,6 MPa. Tlakový vzduch je z externího průmyslového zdroje přiveden po těle robota až do ventilového terminálu. Zde je vzduch rozdělen dle potřeby do šesti 5/3 ventilů. Ventily jsou na odřezcích osazeny tlumiči hluku. Z ventilů vzduch proudí do jednotlivých skupin pneumotorů. Pro spojení jsou použity hadice $\varnothing 12$ mm.

Je žádoucí řídit rychlost pohybu jednotlivých válců, a proto je každý osazen škrtícím ventilem. Napojeny jsou vždy na odpadní větev válce (pro uzavírací cyklus) a regulují průtok vyfukovaného vzduchu. Tím vytvářejí regulovatelný odpor pohybu pístu ve válci – ovládají rychlost uzavírání. Nebyl dán požadavek na rychlost otevírání válců, škrtící ventil je proto ke každému válci použit jen jeden.

7.3.2 Ventilový terminál

Do hlavice je z předpřipravených svazků na rameni robota přes ventilový terminál (obr. 7-8) veden zdroj tlakového vzduchu, řídicí komunikace ProfiNet a zdroj elektrického proudu.



Obrázek 7-8: Ventilový terminál, SMC

Terminál je dodán firmou SMC a nakonfigurován dle použitých připojovaných komponent. Je složen z:

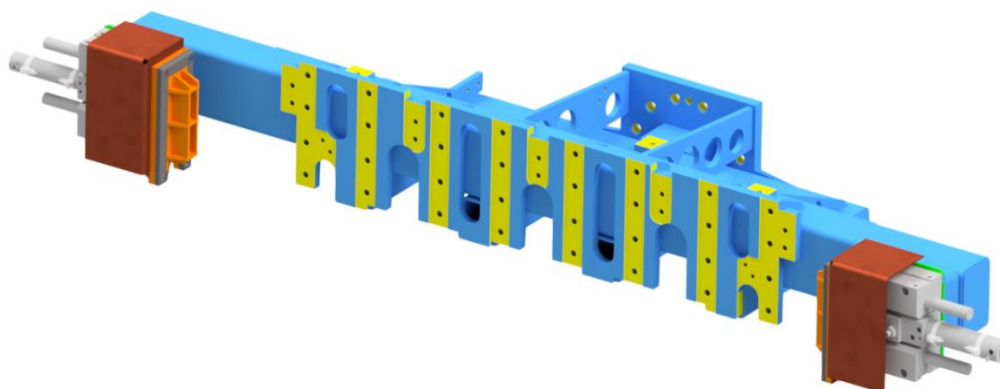
- 6 x 5/3 ventil JSY5000
- 4 x jednotka systému sériového přenosu dat EX600

Požadavek na 5/3 (bistabilní) ventily byl dán zadavatelem. V případě krizového zastavení výroby (např. výpadek elektrického proudu) se ventil při ztrátě přívodu vzduchu přestaví do středové polohy, čímž uzamkne nastavení, které měl před zastavením. Tím během krizového zastavení zabrání případnému nechtěnému vypnutí manipulovaného dílce z úchopného efektoru. Velikost ventilů je dimenzována na zapojení až tří upínacích válců na jeden ventil. Z toho důvodu jsou použity ventily s označením 5000 s nejvyšším možným průtokem z řady JSY a to až 1551 l/min.

Každá jednotka EX600 obsahuje osm pinů pro přívod signálu. Pro připojení interních čidel pneumatických válců a indukčních senzorů budou použity tři jednotky. Čtvrtá slouží pro interní potřebu propojení logického řízení.

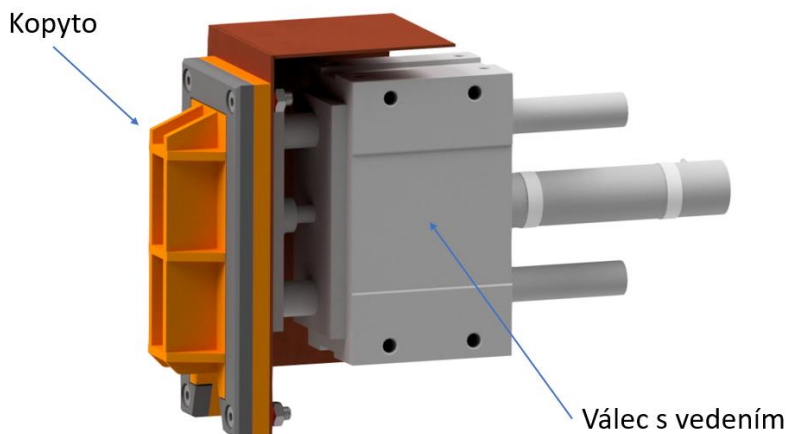
7.3.3 Válc s vedením

Po obou stranách hlavičky (obr. 7-9) jsou umístěny lineární pneumotory – válce s vedením (obr. 7-10).



Obrázek 7-9: Pozice kopyt na rámu hlavičky

Jejich konce nesou opěrné části – kopyta (vysvětleno v kapitole 7.3.4 – Kopyta). Po najetí hlavičky k dopravníku s dílcem se válce vysunou a mezi kopyta zmáčknou manipulovaný profil. Tím jej uchytí a zároveň vystředí. Vzdálenost válců od rámu může být přesně nastavena pomocí schims (vysvětleno v kapitole 7.4.6 - Schimsy).



Obrázek 7-10: Válec s vedením s kopytem

K dispozici se nabízí více variant řešení s různými typy válců:

1. Použity mohou být obyčejné válce stejných velikostí bez interních dorazů. Mohly by se ovšem vzájemně přetlačovat. Vystředění by nebylo zaručeno.
2. Proti sobě lze umístit válce bez interních dorazů, avšak o různých velikostech. Větší z válců by dosedl na nastavitelný externí doraz, jenž by garantoval polohu vystředění. Druhý válec by tlačil proti, ale vzhledem ke své menší velikosti (a tím menší vyvozené síle) by jej nepřetlačil a pouze se opřel.
3. Použití válců s interním dorazem (brzdou) s vysokou přesností zastavení. V tomto případě budou použity válce stejné velikosti. Interní dorazy se nastaví do příslušných pozic tak, aby byl manipulovaný dílec přesně vystředěn. Interní snímače koncových poloh zkontrolují správnost uchycení (vysunutí válců). Jako chtěný stav je brán ten, kdy senzory obou válců hlásí stav OK (plně vysunuto).

Pracováno je dále s variantou č. 3 – použití válců s přesnou brzdou řady MLGC společnosti SMC.

Válec s vedením, s brzdou, MLGC, $\varnothing 32$

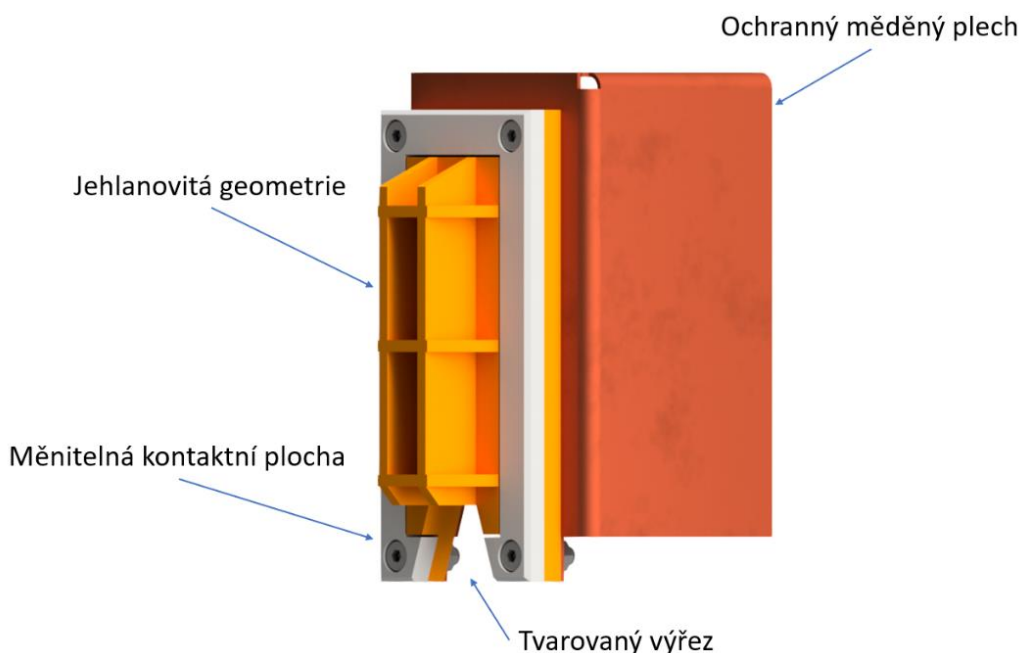
Na obrázku (obr. 7-11) je válec s vedením, s brzdou, řady MLGC, $\varnothing 32$, výrobce SMC. Konfigurován je s maximálním zdvihem 75 mm. Umístěn bude na obě strany hlavice a ponese kopyta.



Obrázek 7-11: MLGC, Válec s vedením, s brzdou, $\varnothing 32$, SMC [24]

7.3.4 Kopyta

Manipulovaný profil bude v přípravku na dopravníku vystředěn z obou stran speciální tvarovkou. Aby při nabírání dílce kopyty (obr. 7-12) z dopravníku nedošlo ke kolizi kopyt s přípravkem, jsou ve spodní části kopyt výřezy pro tyto tvarovky.



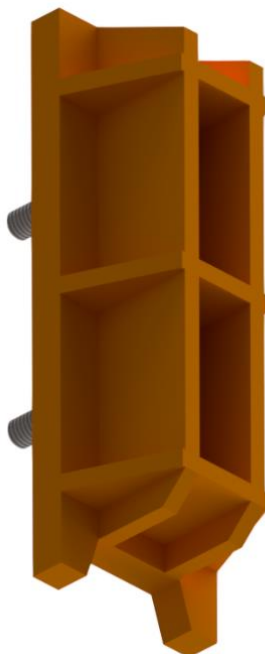
Obrázek 7-12: Středící kopyto s ochranným měděným plechem

Jelikož bude dosedací plocha kopyta vystavena vysokému množství tření, je chráněna dílcem, který slouží jako měnitelná kontaktní plocha. Pro snadnou demontáž a výměnu je připevněna šroubovým spojem.

Během vlastního svařování není třeba s kopytem vyjíždět z profilu. Koutový svar robot provede pouze na rovné střední části profilu (bez ohýbaných okrajů). Tím vznikne po obou stranách dílce mezera přibližně 25 mm mezi kopytem a drátem ve svařovacím hořáku, která bude dostačující k tomu, aby nedošlo k nechtěnému přivaření kopyta k uchopenému svařovanému dílci.

Kopyto je navrženo jako deska se středícím kosým čtyřbokým jehlanem uprostřed. Jehlanem není myšlen plný profil. V rámci odlehčení byla zachována pouze

geometrie a jehlanovitý tvar je vyskládán z do sebe zapadajících tvarovaných plechů viz obr. 7-13.



Obrázek 7-13: Jehlanovitá geometrie kopyta vyskládaná z kratších a delších, do sebe zapadajících, plechů

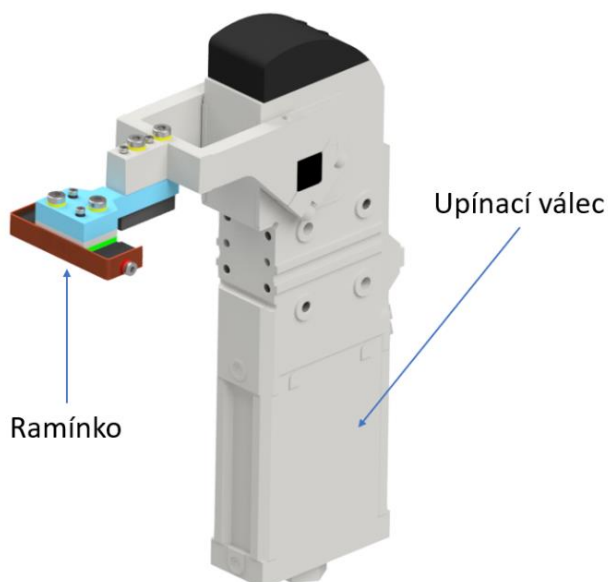
Levé i pravé kopyto jsou kvůli požadavku na nízké výrobní náklady navrženy shodně.

Součástí sestavy kopyta je i ohýbaný výpalek z měděného plechu montovaný na zadní stranu základní desky kopyta. Pohybuje se tedy současně s kopytem. Slouží jako ochrana před rozstříkem pro odhalené vodící tyče pneumatických válců ve vysunutě poloze. Plochy kopyta není třeba chránit, během svařování budou překryty samotným upnutým svařencem.

7.3.5 Upínací válce

Pro deformaci a přidržení manipulovaného profilu před, během a po svařování jsou vybrány upínací válce řady CKZT, společnosti SMC, o průměrech vnitřních válců $\varnothing 80$ mm (CKZT80) a $\varnothing 63$ mm (CKZT63). Jedná se o pneumatické válce, které interně pákovým převodem konvertují lineární pohyb pístu na výsledný kyvný pohyb výstupního

ramena. Na upínací válce jsou montována přítlačná ramínka (kapitola 7.3.6 – Přítlačná ramínka). Viz obr. 7-14.



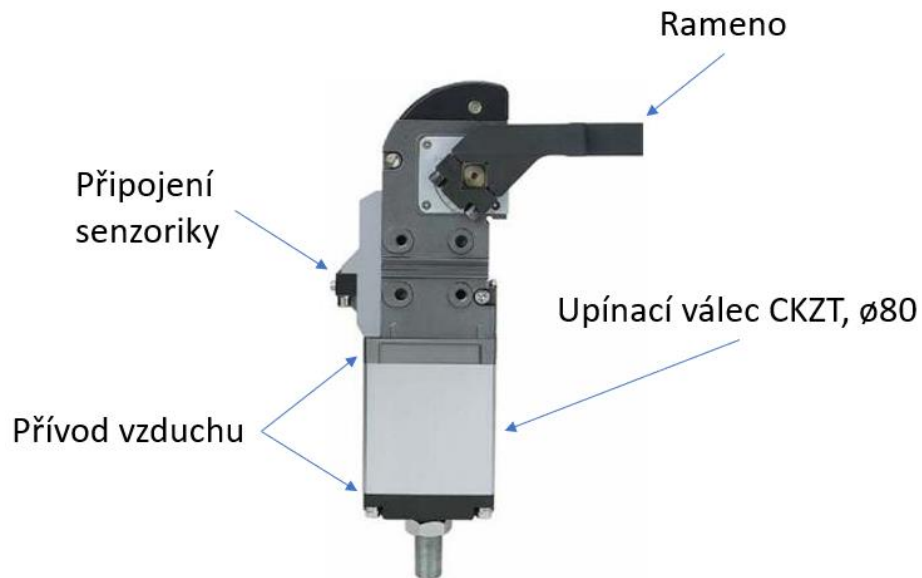
Obrázek 7-14: Upínací válec s ramínkem

Upínací válec, CKZT, $\varnothing 63$

Upínací válec CKZT $\varnothing 63$ je schopen při pracovním tlaku vzduchu 0,6 MPa vyvinout sílu až 3 kN. Válce $\varnothing 63$ budou působit na boční stěnu profilu. Při použití 4 válců je výsledná síla čtyřnásobná, tedy celkem 12 kN. Tato hodnota je větší, než minimální požadovaná přítlačná síla $F_1 = 10$ kN (viz kapitola 7.2.1 – Stanovení velikosti přítlačných sil), a proto vyhovující. Konfigurovány jsou válce s otevřením 90 °.

Upínací válec, CKZT, $\varnothing 80$

Druhý použitý upínací válec CKZT $\varnothing 80$ (na obr. 7-15) je schopen při pracovním tlaku vzduchu 0,6 MPa vyvinout sílu až 5 kN. Válce $\varnothing 80$ budou působit na horní stěnu profilu. Při použití 5 válců je výsledná síla pětínásobná, tedy celkem 25 kN. Tato hodnota je větší, než minimální požadovaná přítlačná síla $F_2 = 24$ kN (viz kapitola 7.2.1 - Stanovení velikosti přítlačných sil), a proto vyhovující. Konfigurovány jsou válce s otevřením 45 °.

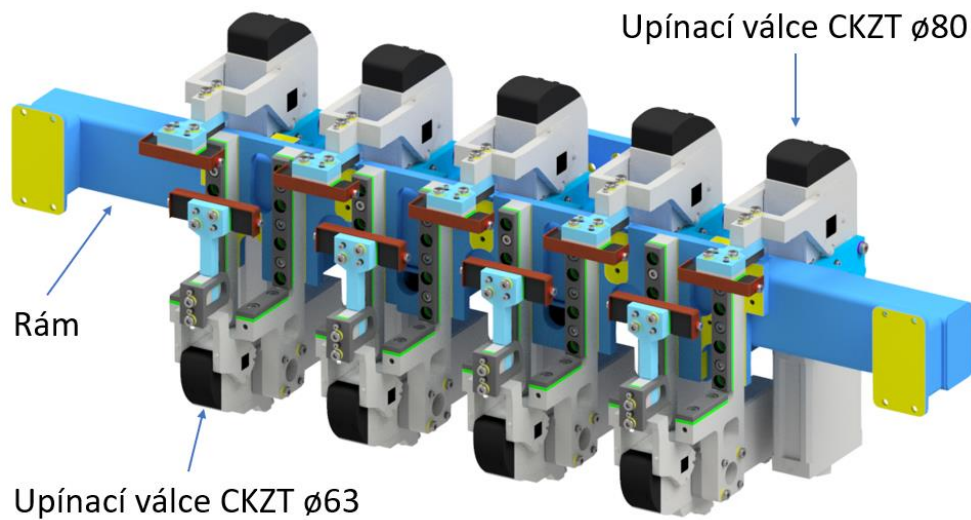


Obrázek 7-15: Upínací válec CKZT ø80, SMC [25]

Aby bylo docíleno kompaktnosti efektoru, jsou upínací válce navzájem v částečném zákrytu. S pěti válci ø80 působícími na vrchní stěnu dílce je pro dodržení rovnoměrnosti rozložení zatížení vhodné volit sudý počet válců pro působení na boční stěnu dílce. Nabízí se dvě řešení:

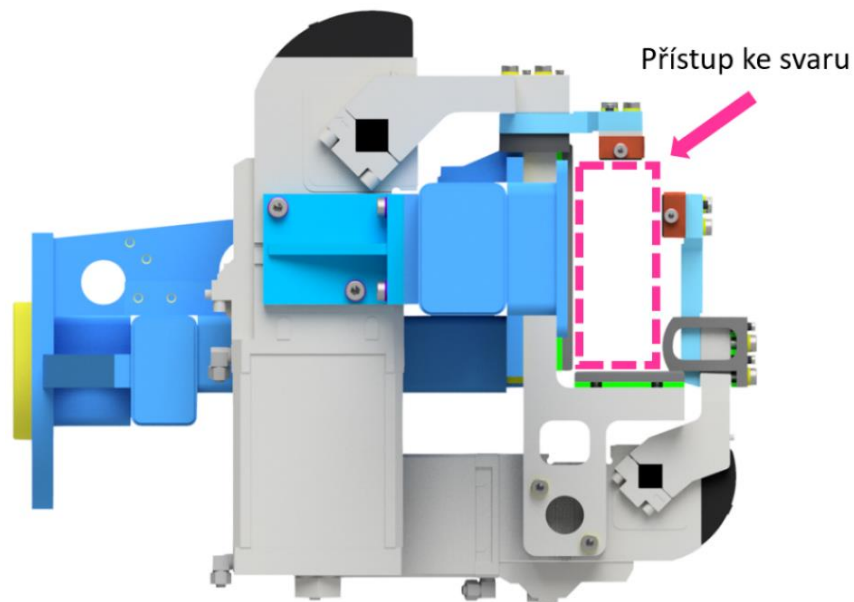
1. Použití dvou válců ø80 působících celkovou silou 10 kN, což se rovná minimální potřebné síle $F_1 = 10$ kN.
2. Čtyři válce ø63 působící celkovou silou 12 kN. Pracuje se tedy s rezervou 2 kN oproti minimální potřebné síle F_1 .

Cenově i hmotnostně vycházejí obě varianty téměř shodně. Bylo přihlédnuto k rovnoměrnějšímu rozložení působení přitlačných sil ve čtyřech kontaktních plochách místo dvou a k silové rezervě 2 kN, proto se přikročilo ke druhému řešení. Celkové rozložení všech pneumatických válců na hlavici je znázorněno na obr. 7-16.



Obrázek 7-16: Pozice upínacích válců s ramínky na rámu hlavice

Na následujícím pohledu z boku (obr. 7-17) je dle zvoleného rozložení upínacích válců patrný prostor pro manipulovaný dílec. Zároveň je viditelný přístup ke svaru (znázorněno růžově).



Obrázek 7-17: Pozice upínacích válců s ramínky, růžově vyznačen prostor pro manipulovaný dílec a přístup ke svaru, pohled z boku

7.3.6 Přítlačná ramínka

Přítlačná ramínka jsou montována na upínací válce. Vyrobená jsou samostatně pro každý válec. Spřažení pohybu dvou a více válců přes jejich výstupní členy (ramínka) by mohlo vést k chybám a kolizím během jejich pohybů.

U návrhu ramínek je třeba brát zřetel na jejich celkovou délku, respektive na vzdálenost působíště přítlačné síly (F_1 , F_2) od osy otáčení. Z momentové věty totiž vyplývá, že při zachování hodnoty točivého momentu vyvozeného upínacím válcem klesá velikost působící síly s rostoucí vzdáleností působíště síly od osy otáčení. Maximální délka ramínka je doporučena výrobcem upínacích válců.

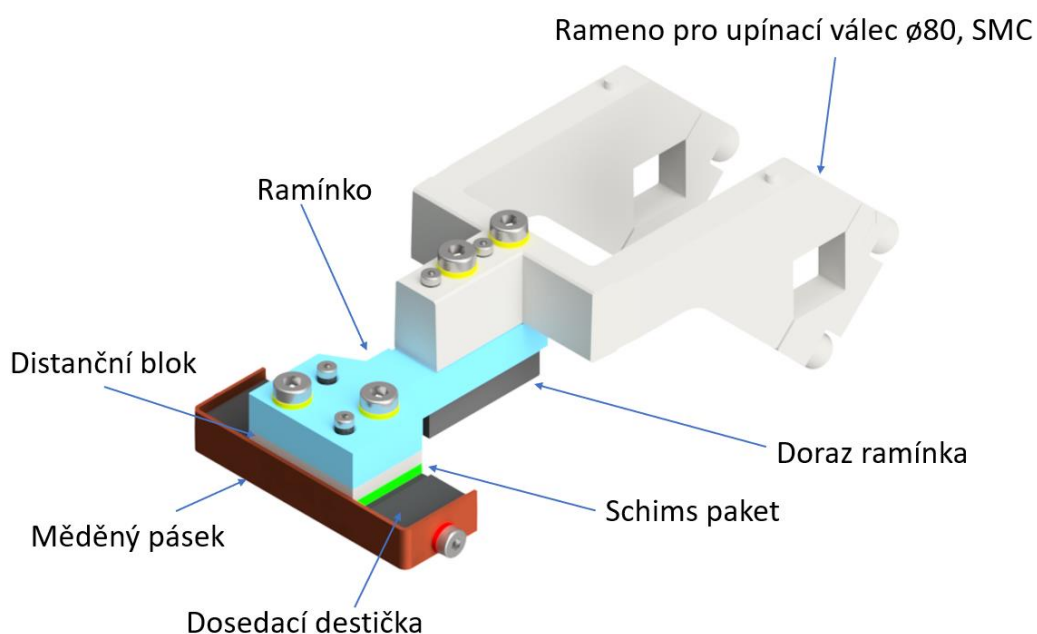
Podobně jako u problematiky délky ramínka se řeší i celková hmotnost. Maximální přípustná hmotnost je dána výrobcem upínacích válců. Kdyby hmotnost ramínka překročila dovolenou hodnotu, válec by nebyl schopen vyvinout patřičnou sílu pro jeho manipulaci.

Přípojný komponent je kupovaný díl přímo od výrobce upínek. Na ten je napojeno samotné ramínko, regulující svou délkou výsledné působíště přítlačné síly. Konec ramínka je osazen dosedací destičkou, krytou ochranným měděným plíškem a popřípadě distanční vložkou pro docílení požadované vzdálenosti od deformovaného manipulovaného dílce. Mezi dosedací destičku a ramínko je montován schims paket pro přesné doladění dosedací geometrie.

Ramínko pro upínací válec CKZT $\varnothing 80$ (obr. 7-18) se liší od ramínka pro upínací válec $\varnothing 63$ (obr. 7-19). Primárním rozdílem je jejich celková délka a hmotnost. Liší se i některými použitými komponenty:

Ramínko pro válec CKZT ø80 (horní)

Kupovaný přípojný komponent (rameno) je volen pro velikost válce ø80 s offsetem 15 mm. Kromě již dříve vyjmenovaných komponent ramínko nese dorazový blok, který poté dosedá na doraz pro horní ramínko umístěný na rámu. Dále je na ramínko montována již dříve zmíněná distanční vložka.



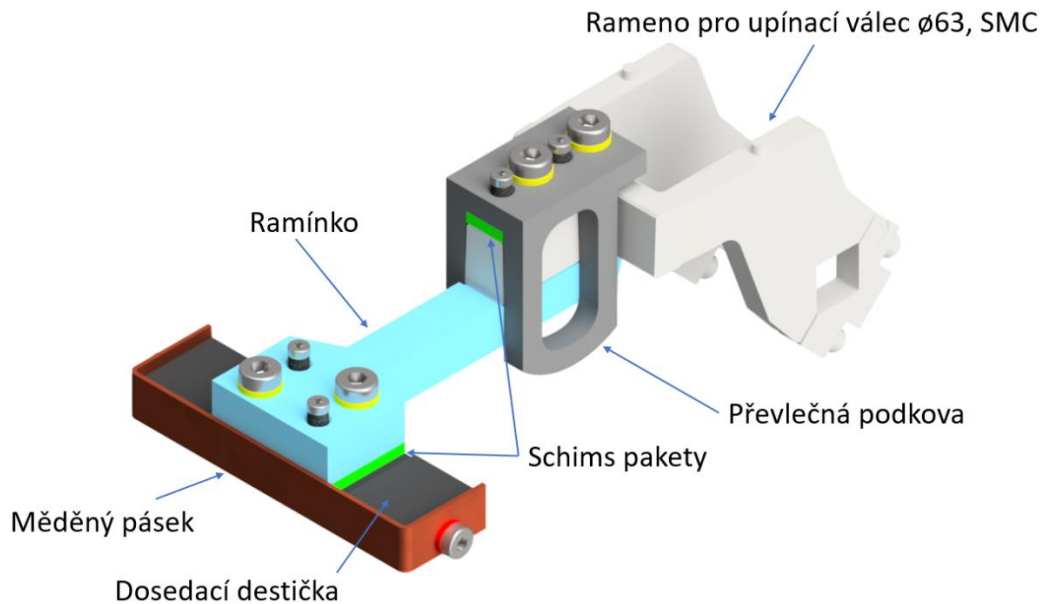
Obrázek 7-18: Ramínko pro válec CKZT ø80

Ramínko pro válec CKZT ø63 (boční)

I zde je použit kupovaný přípojný komponent (rameno) velikostně odpovídající pro daný upínací válec ø63, ovšem dle geometrie s offsetem 45 mm. Chybí zde dorazový blok, protože na pevný doraz na hlavici bude dosedat přímo přípojný komponent.

Dalším odlišným komponentem ramínka je převlečná „podkova“. Podkova při zavírání ramínka pomáhá tlačít manipulovaný dílec na dosedací stěnu na efektoru a kontroluje tím správnost výsledné geometrie zmáčknutého profilu. Navržena je tak, aby byla vždy jen pomocným přitlačným prvkem a do kontaktu s dílcem přišla až poté, co jej stiskne dosedací destička na konci ramínka. Síla vynaložená upínacím válcem způsobuje primárně stisk profilu, a ne toto pomocné posunutí. Podkova je na ramínko

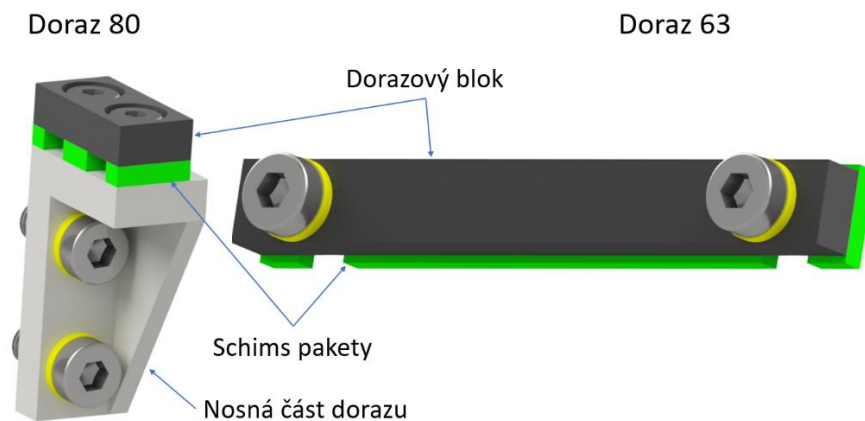
montována přes schims paket pro možnost správného nastavení její polohy vůči dosedací destičce.



Obrázek 7-19: Ramínko pro válec CKZT ø63

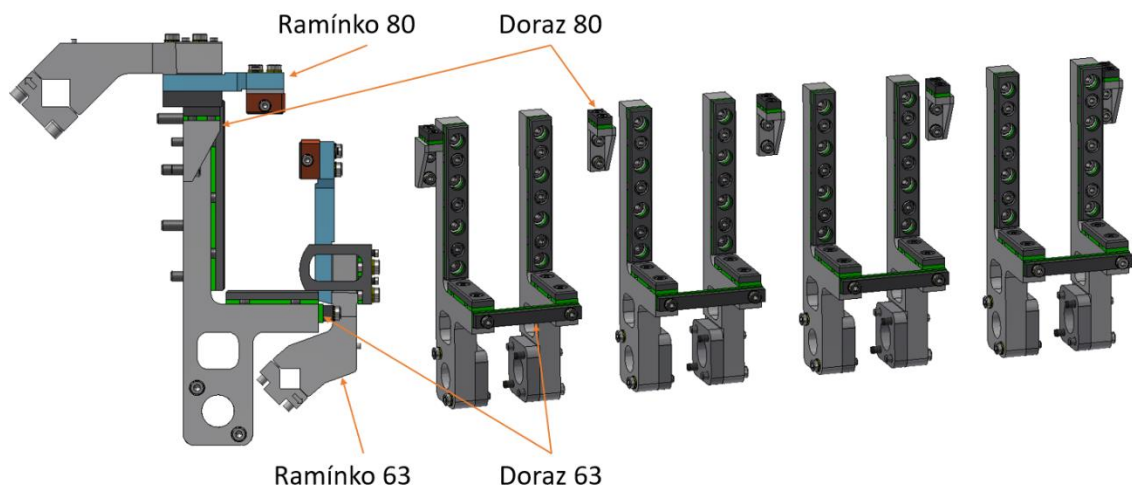
7.3.7 Dorazy ramínek

Upínací válce pracují s nevyhovujícími přesnostmi krajních poloh. Kritická je převážně poloha zavřená. Dosedací geometrie je tedy regulována převážně dorazy ramínek (obr. 7-20). První část dorazu (na obr. 7-21) je vždy umístěna se schims paketem na nepohyblivý komponent (čelní deska rámu, nosný „L“ profil).



Obrázek 7-20: Dorazy ramínek

Druhá část dorazu (dorazový blok) je umístěna na ramínku, popřípadě se doraz opírá o ramínko přímo. Všechny dorazové bloky jsou kaleny pro zvýšení tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Doraz ramínka upínacího válce $\varnothing 80$ je označen pouze jako „Doraz 80“, podobně je to u dorazu ramínka upínacího válce 63.



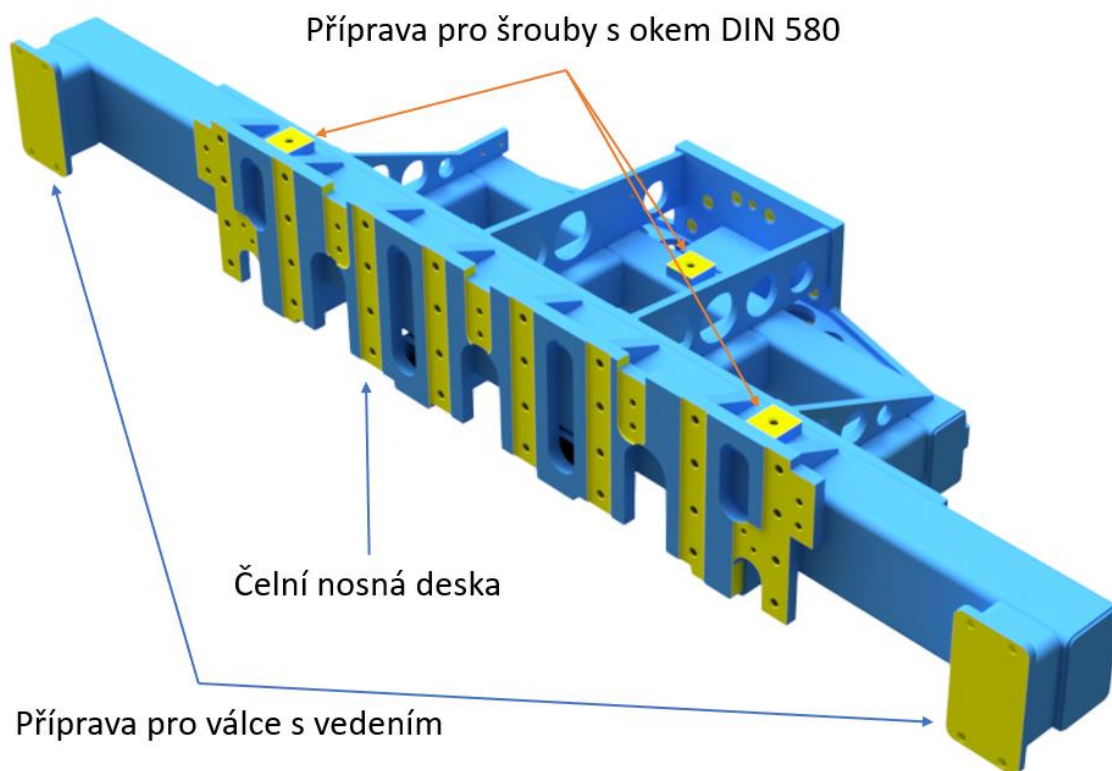
Obrázek 7-21: Vlevo dosednutí ramínek na dorazy, vpravo umístění dorazů vzhledem k nosným "L" profilům

7.4 Rám hlavice

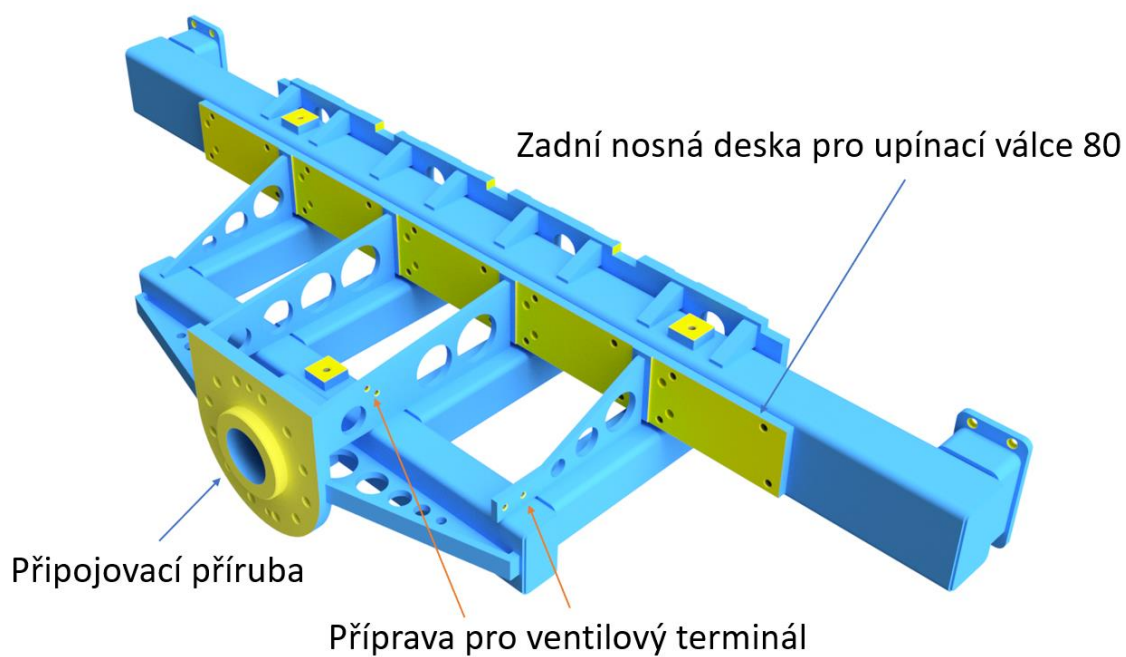
Základním prvkem chapadla je svařenec ocelového rámu. Ten nese pneumatické upínky, senzory, ventilový řídicí terminál a opěrné prvky pro manipulovaný dílec. K robotu je připevněn pomocí příruby. Důraz je kladen na nízkou hmotnost a co možná nejlevnější výrobní náklady.

7.4.1 Těleso rámu

Z požadavku na nízké výrobní náklady vyplývá omezení obrábění a tváření dílců, naopak použití normalizovaných profilů, popřípadě tvarově jednoduchých částí. Ty jsou laserem nebo plazmou vypáleny z tabulových plechů a následně svařeny do složitějších celků. Jednotlivé komponenty a svařence jsou dále svařovány až do finální podoby celého rámu.



Obrázek 7-22: Čelní pohled na těleso rámu, dodatečně obráběné plochy žlutě



Obrázek 7-23: Pohled na těleso rámu zezadu, dodatečně obráběné plochy žlutě

Nejjednodušším, nejpraktičtějším a nejlevnějším způsobem uchycení komponent na rám je přes nosné desky (obr. 7-22 a obr. 7-23). Ty se navaří na základní těleso rámu. Během svařování existuje riziko deformace rámu a nosných desek vlivem vysoké teploty. Pro zajištění geometrie styčných ploch s požadovanou tolerancí je po svařování nutné rám upnout do frézky, zarovnat dosedací plochy, navrtat a nazávitovat díry pro montáž komponent dle zvolených technologických základen (na obrázcích jsou dodatečně obrobene plochy znázorněny žlutě).

Na nosné desky se poté šroubují všechny komponenty. Šroubové spoje (primárně šroubem s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem tzv. imbusem a dírou se závitem) jsou rozebíratelné a nabízí možnost pozdějšího servisu nebo výměny poškozených komponent.

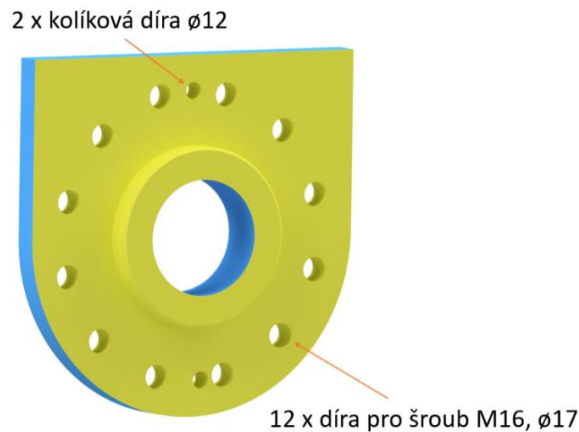
Navařeny jsou také bloky pro uchycení šroubů s okem, za které bude s hlavicí manipulováno.

7.4.2 Materiál rámu

Základním materiálem komponentů rámu manipulační hlavice byla zvolena ocel S275JR. V těsném okolí součástí vystavených svařovacímu procesu jsou pro ochranu ocelových dílů použity měděné plíšky. Na mědi neulpívají kapičky kovu, které mohou být potenciálně rozstříkány během svařování.

7.4.3 Připojení k robotu

Konstrukce rámu manipulační hlavice bude k připojovacímu rozhraní robotu připevněna pomocí příruby (obr. 7-24), 12 ks šroubů M16 a dvou kolíků zajišťujících přesnost polohy. Příruba nemá klasický kruhový tvar. Její spodní kruhová polovina přechází ve vrchní části do obdélníku. Změna tvaru má za efekt přidání materiálu, a tím vytvoření technologických ploch pro navaření výztuh rámu přímo na přírubu. V průběhu procesu není požadována automatická výměna koncového efektoru. Připojení bude tzv. „na pevno“, tj. hlavici nebude možné v průběhu výrobního procesu bez vnějšího zásahu vyměnit.



Obrázek 7-24: Připojovací příruba, plochy obráběné po přivaření příruby k rámu žlutě

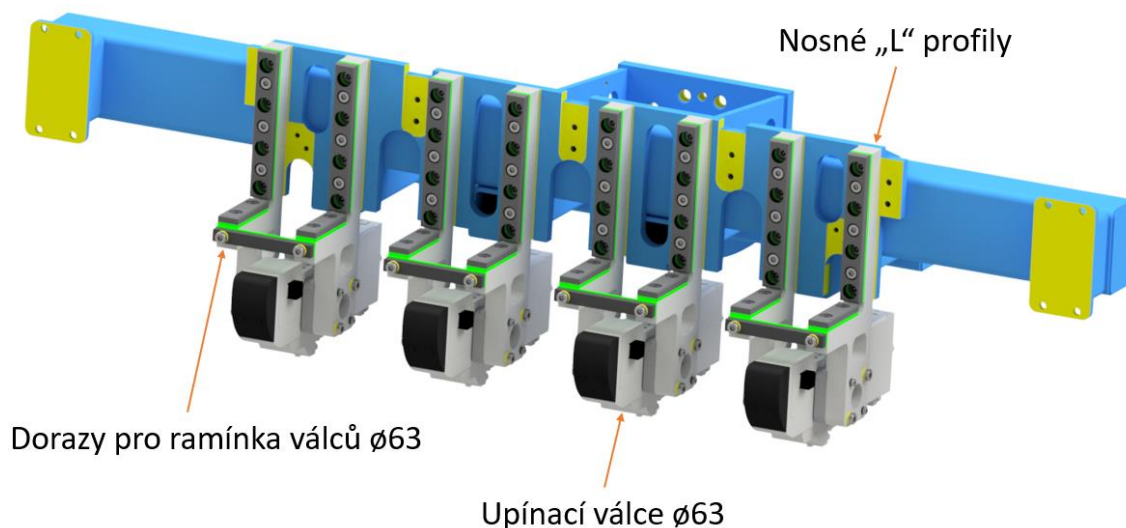
7.4.4 Nosné „L“ profily

Nosné „L“ profily (obr. 25) mají v rámci hlavice primární funkci lůžka pro manipulovaný dílec. Montovány jsou na obrobenou čelní desku rámu hlavice. Nosné profily jsou osazeny měnitelnými kontaktními plochami, které je možno vyměnit v případě opotřebení způsobeného oděrem manipulovaných dílců o hlavici během pracovního provozu. Měnitelné plochy jsou montovány se schims pakety, aby bylo možno přesně regulovat polohu uchopeného dílce vůči rámu a pneumatickým válcům.



Obrázek 7-25: Dvojice nosných "L" profilů

Je využito výhodné pozice nosných „L“ profilů a ty jsou přes distanční bloky použity k upevnění spodních upínacích válců CKZT $\varnothing 63$. Na profily je také montován doraz pro ramínka zmíněných upínacích válců (obr. 7-26).

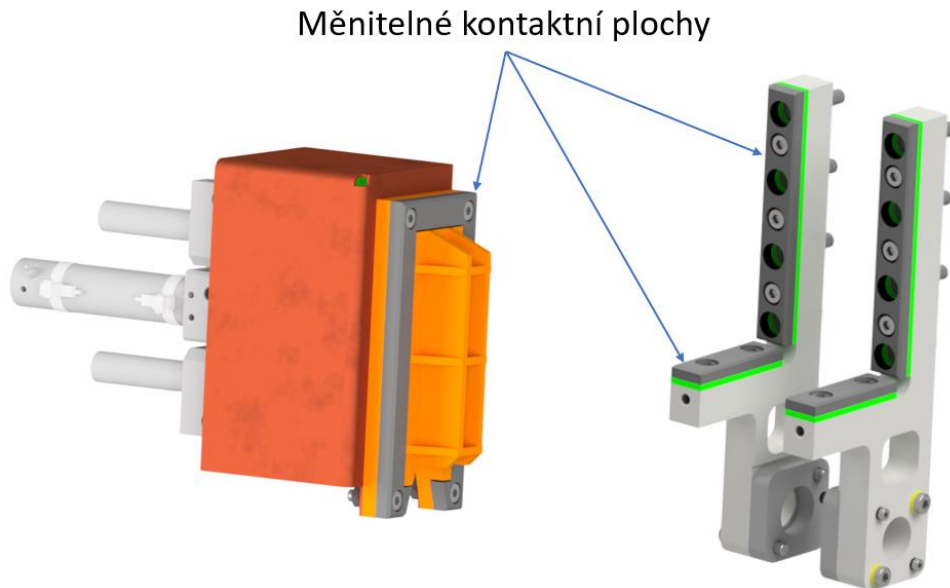


Obrázek 7-26: Poloha nosných "L" profilů na rámu hlavice

Profily se chovají jako vetknuté nosníky a jsou namáhány silou F_2 na ohyb. Při nedostatečné tuhosti a příliš velké deformaci „L“ profilů by byla ovlivněna výsledná geometrie upínaného dílce. Závislost dovolené deformace na velikosti profilu je proto počítána v kapitole návrhových výpočtů.

7.4.5 Měnitelné kontaktní plochy

Při návrhu konstrukce je myšleno na části hlavice, jejichž plochy budou v bezprostředním kontaktu s manipulovaným profilem. Vzhledem k předpokládanému velkému množství posuvů a tření styčných ploch s profilem bude docházet k opotřebení těchto ploch odíráním. Jsou proto navrženy tak, aby se daly jednoduše servisovat (vyměnit). Připojeny jsou rozebíratelným šroubovými spoji a jsou snadno přístupné pro servisního technika (obr. 7-27).

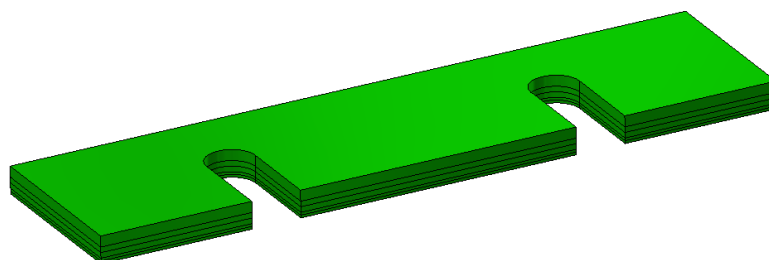


Obrázek 7-27: Vlevo měnitelná kontaktní plocha na kopytě, vpravo na nosných "L" profilech

7.4.6 Schimsy

Schimsy (pozn. z anglického „schims“ - podložky) jsou tenké plíšky určené pro korekci geometrických nepřesností vzniklých při výrobě. Jsou použity pro doladění požadované polohy prvků vůči sobě (např. při uchycení komponent na rám), v řešeném případě s přesností 0,5 mm. V základu (obr. 7-28) je montováno specifické seskupení pěti plíšků o různých tloušťkách (schims paket) o celkové výšce 5 mm, tedy:

- 1 x 2 mm
- 2 x 1 mm
- 2 x 0,5 mm.



Obrázek 7-28: Příklad schims paketu v základním seskupení (5 mm)

Po namontování efektoru na robota se při finálním ladění rozsahu pohybů a polohy kontaktních ploch eventuálně plíšky přidají, respektive odeberou.

Korekční plíšky (schimsy) jsou montovány mezi dosedací destičky pneumatických upínek a ramínko upínky, mezi ramínko a převlečnou podkovu, mezi rám a válec s vedením, mezi válec s vedením a kopyta, mezi rám a měnitelné kontaktní plochy s dílcem a do dorazů ramínek (obr. 7-29).



Obrázek 7-29: Použití schims paketů (zeleně) na jednotlivých součástech

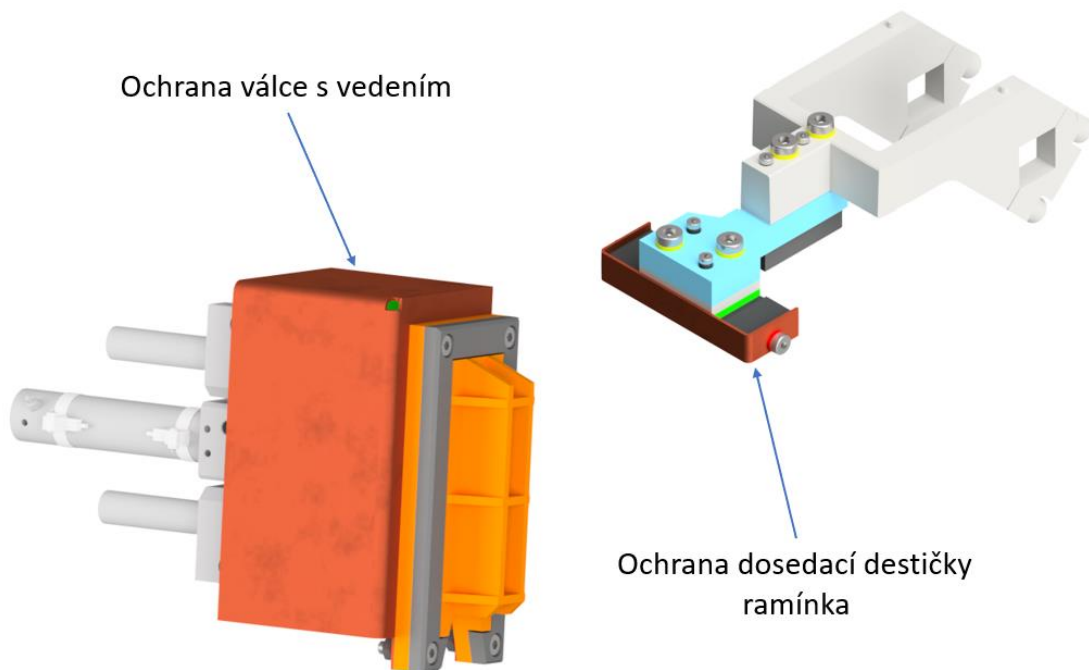
Kvůli tvarové specifičnosti není možné použít schimsy standardizované a je třeba vyrobit vlastní.

7.4.7 Ochrana proti rozstříku

Během svařovacího procesu je vysoká pravděpodobnost výskytu rozstříku nataveného přídavného materiálu ve formě odletujících kapiček. Jedná se o nežádoucí jev. Ulpívající kapičky, zachycené na stykových plochách hlavice s manipulovaným dílcem, mohou způsobit nepřesnosti v polohování a upnutí dílce. Jako ochrana proti rozstříku se užívají komponenty z mědi, na které rozstřík neulpívá. Oproti oceli je ovšem měď výrazně finančně nákladnější a má vyšší materiálovou hustotu, tedy stejná

komponenta se stejným objemem vyrobená z mědi má vyšší hmotnost, než ta z oceli. Z mědi se proto použijí pouze ochranné kryty pokrývající plochy komponent, které jsou při svařování nejexponovanější.

Jedná se konkrétně o měděné plíšky chránící dosedací destičky na koncích ramínek upínek. Chránit je třeba také vodící tyče pneumatických válců s vedením (obr. 7-30).

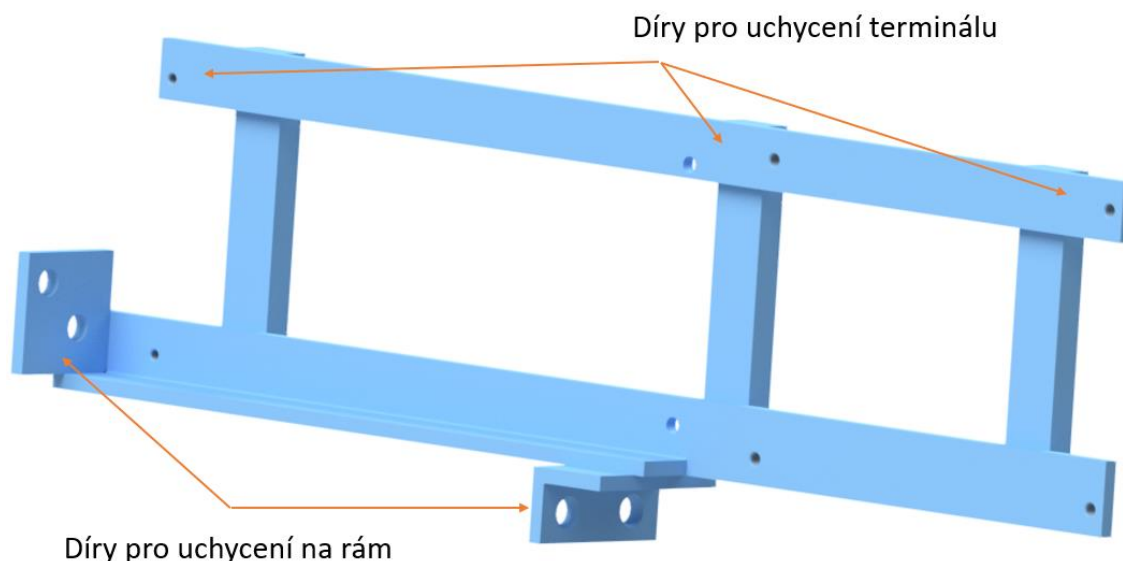


Obrázek 7-30: Ochranné měděné kryty umístěny na komponentech.

Ochranné plíšky nejsou ke komponentám navařovány, nýbrž připojeny rozebíratelnými šroubovými spoji. V případě opotřebení či deformace vlivem tepla tím bude umožněna jejich snadná výměna.

7.4.8 Klec pro ventilový terminál

Ventilový terminál bude přimontován na připravený svařenec pomocného rámu – klec (obr. 7-31). Ten je přichycen zezadu na samotný rám hlavičky šroubovými spoji. Spojení je rozebíratelné, aby bylo možno klec při přepravě sejmout a nedošlo k jejímu poškození.



Obrázek 7-31: Klec pro ventilový terminál

7.4.9 Spojovací materiál

Tato kapitola představuje spojovací materiál použitý při konstrukci úchopného efektoru. Jedná se o šrouby s nízkou válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, podložky, matice, kolíky a šrouby s okem. Spojovací komponenty jsou kupovány.

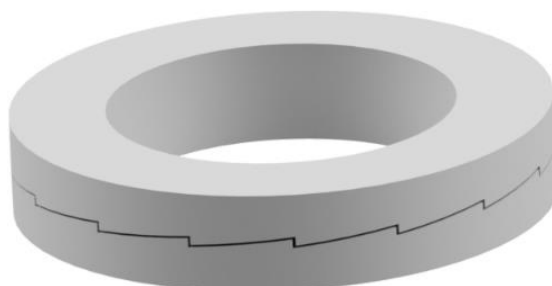
Šroub s nízkou válcovou hlavou s vnitřním šestihranem DIN 7984

Šrouby typu „imbus“ jsou použity dle přání zadavatele. Varianta s nízkou hlavou je preferována vzhledem k faktu, že značná část šroubů bude mít hlavu zapuštěnou tak, aby nevyčnívala ze součásti.

Podložka NORD-LOCK DIN 25 201

Jelikož bude hlavice v průmyslovém provozu vystavena nadměrným otřesům a vibracím, způsobeným například odfukem vzduchu z pneumatického obvodu nebo setrvačnými silami při pohybech robota, je nutno pojistit šroubové spoje proti těmto vlivům. Z toho důvodu jsou pod většinu hlav šroubů instalovány protivibrační podložky NORD-LOCK (obr. 7-32). Technologie podložky pracuje s napětím oproti klasickému

tření. Dvojice podložek na principu závěrného klínu zabrání uvolnění spoje zvýšením napětí.



Obrázek 7-32: Podložka Nord-Lock

Matice šestihranná hrubá DIN 555

Spojení šroubu a matice je použito při uchycování ochranných měděných plechů na obě kopyta. Na šroub DIN 7984 je montována hrubá matice DIN 555. Spoj je pojištěn podložkou NORD-LOCK DIN 25 201.

Kolík válcový s vnitřním závitem DIN 7979

Díly, které vůči sobě musí být geometricky přesně uloženy, jsou spojeny mimo šroubů i kolíky. Oba díly mají připraveny dvě přesné kolíkové díry. Při montáži se díly nejprve sesadí přes dva kolíky, tím se přesně definuje jejich pozice, a poté se spojí šroubovým spojem.

Kolíky díky svým pozicím nebudou moci být klasicky vytlučeny. Pro zajištění rozebíratelnosti spoje jsou použity kolíky s vnitřním závitem. Do závitové díry se v případě potřeby umístí nástroj, za jehož pomoci lze kolík demontovat. Aby při přepravě nebo během pracovního cyklu hlavice nedošlo k zanesení či poškození vnitřního závitu kolíku, je již při montáži do díry jako mechanická ochrana umístěn šroub.

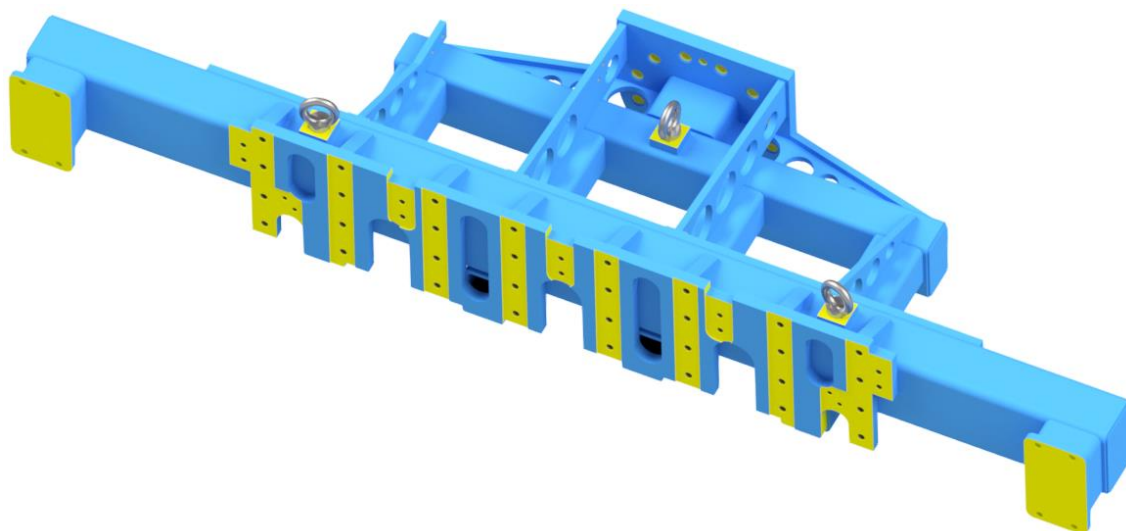
Šroub s okem DIN 580

Vzhledem k vysoké hmotnosti základního rámu (přibližně 110 kg) a od toho se odvíjející hmotnosti celé úchopné hlavice je nutno vyrobit přípravu pro manipulaci se základním rámem, potažmo s celým chapadlem. V klidovém stavu bude hlavice

uložena na paletě. Při instalaci hlavice na robota nebo při jakémkoliv jiném nestandardním pohybu bude efektor zavěšen na jeřáb a manipulován ve vzduchu. Pro tento případ jsou na rám umístěny tři šrouby s okem DIN 580 (obr. 7-33) tak, aby uvnitř jimi definovaného trojúhelníku leželo těžiště úchopné hlavice a zavěšený efektor byl stabilní (obr. 7-34).



Obrázek 7-33: Šroub s okem DIN 580

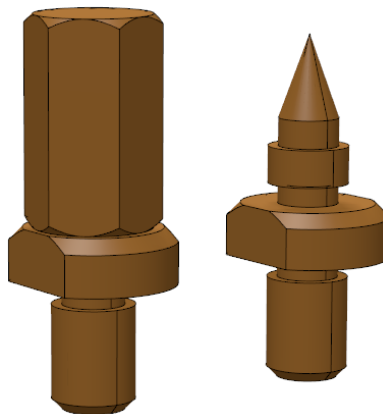


Obrázek 7-34: Pozice tří šroubů s okem DIN 580 na rámu hlavice

Nosnost šroubů klesá se zvětšující se velikostí úhlu, pod kterým jsou zatíženy. Zároveň je třeba eliminovat případnou kolizi vyčnívajících členů chapadla se závěsem. Proto je doporučeno, aby byla hlavice na jeřáb uchycena přes přípravek, který zajistí svislou polohu závěsů.

7.4.10 Kalibrační hroty

Přesná a spolehlivá kooperace více robotů vyžaduje perfektní seřízení jejich vzájemných pohybů s koncovými efekty v prostoru a čase. Robot s úchopnou hlavici bude kalibrován při montáži, popřípadě při pravidelné údržbě.



Obrázek 7-35: Kalibrační trny s kalibračními hroty, vlevo s krytem, vpravo obnažený

Samotná kalibrace proběhne pomocí tří kontrolních trnů s kalibračními hroty umístěných na hlavici, jejichž vrcholy představují referenční body v prostoru (obr. 7-35). Tyto body se spárují se souřadnicemi pohybů svařovacího robota. Díky tomu bude zaručena přesnost polohování a pohybů svařovací hlavy vůči uchopenému svařovanému ocelovému dílci v čase.

Hroty jsou uchyceny na rám do děr po manipulačních šroubech s oky DIN 580 (jejich poloha znázorněna na obr. 7-34). Šrouby budou po připojení robota na hlavici vymontovány a vyměněny právě za kontrolní trny.

7.5 Senzorika

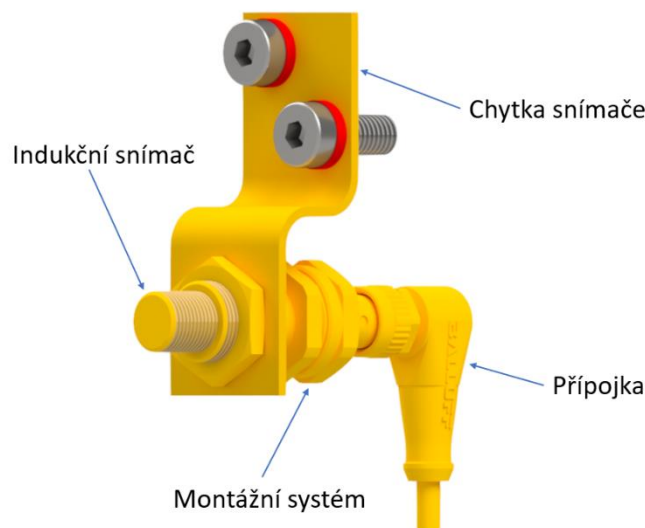
Aby mohl proces probíhat plně automaticky, je třeba i automaticky kontrolovat jeho správný průběh. Primárně bude hlídána přítomnost dílce v hlavici indukčními snímači. Vzhledem k délce dílce bude přítomnost sledována na dvou místech najednou, a to na jeho koncích.

Kromě hlídání přítomnosti dílce v hlavici externími snímači bude kontrolováno i správné dovření dílce pneumatickými válci. Ty mají zabudovanou svou vlastní sensoriku. V případě nesprávného dovření vlivem kolize, poškození pneumatické komponenty, poruchy v pneumatickém obvodu či jiné závady senzory detekují chybu a proces se dočasně přeruší, aby mohlo dojít k nápravě, případně následnému servisu.

Senzory jsou připojeny k řídicí jednotce ventilového terminálu, se kterou sdílí naměřená data a ze které jsou současně i napájeny.

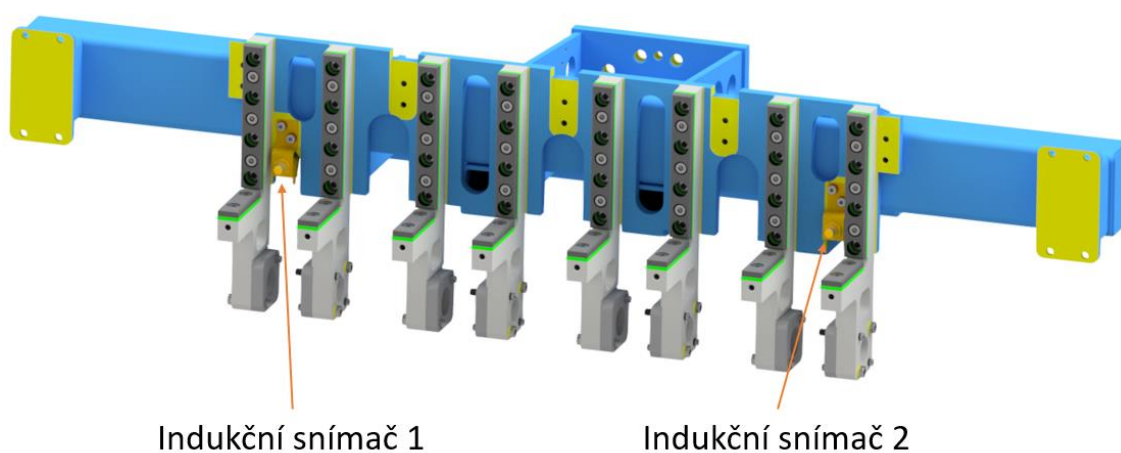
7.5.1 Kontrola přítomnosti dílce

Přítomnost dílce v hlavici určí dvojice indukčních snímačů BES05Y2 společnosti BALLUFF (obr. 7-36).



Obrázek 7-36: Indukční snímač BALLUFF připravený pro instalaci na rám hlavice

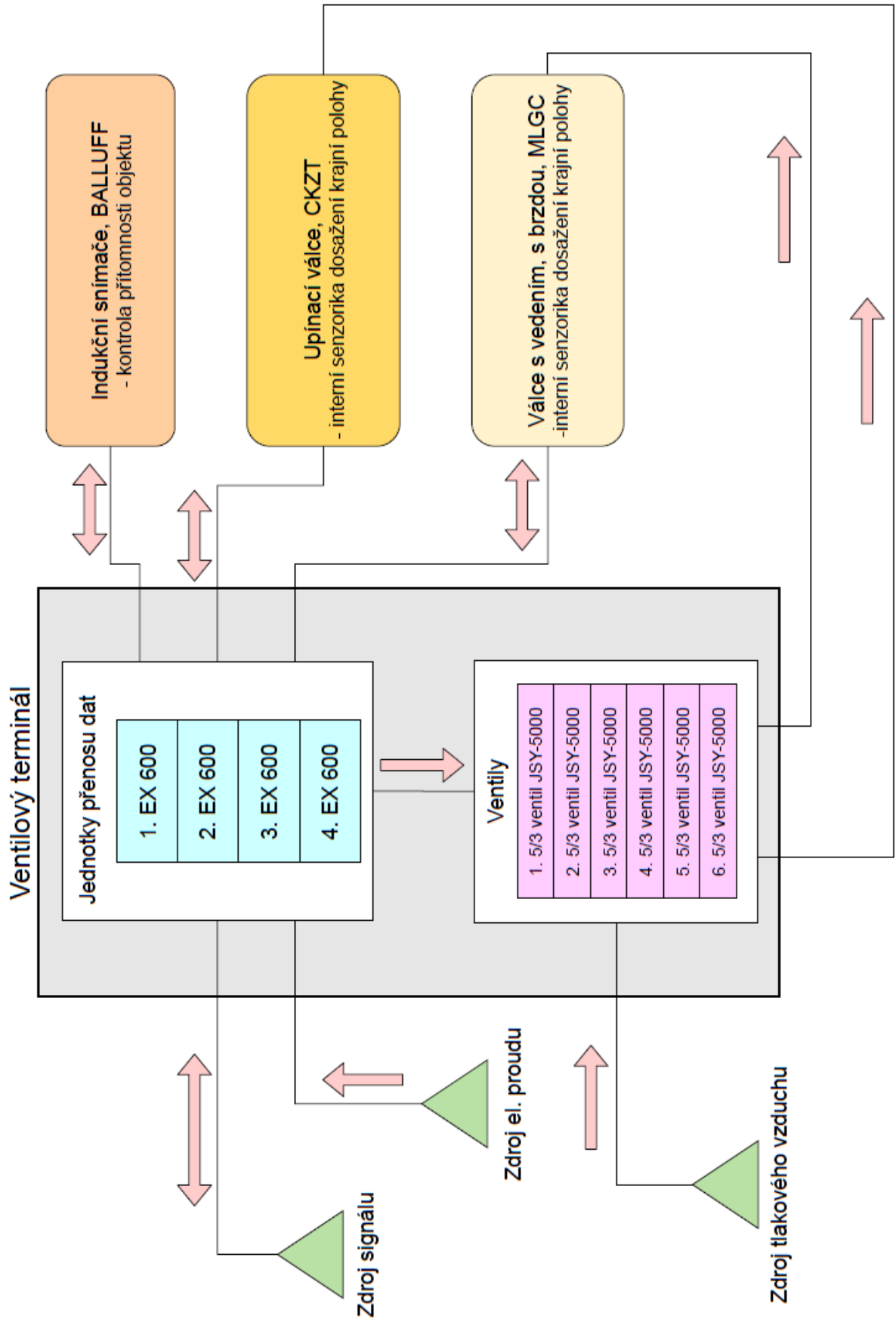
Pomocí montážního systému BAM00E1 téhož výrobce jsou senzory montovány na rám, co nejdál od sebe tak, aby snímaly konce manipulovaného dílce (obr. 7-37). Toto rozložení se snaží eliminovat situaci, kdy by se profil vzpříčil, nebyl správně upnut, a senzory by přesto hlásily bezchybný stav. Zároveň jsou však senzory umístěny vždy mezi z každé strany poslední a předposlední nosné „L“ profily. Ty jim poskytnou zákryt a nemůže nastat poloha, kdy by se teoreticky špatně uchycený a vzpříčený manipulovaný díleček dostal se senzorem do kolize.



Obrázek 7-37: Rozmístění indukčních snímačů (oranžově) na rámu hlavice, patrný zákryt mezi nosné "L" profily

7.5.2 Schéma zapojení senzorů

Zde je schematicky představen způsob propojení senzorů, pneumatických válců a terminálu (jednotky sériového přenosu dat EX600 + 5/3 ventily JSY-5000). Schéma (obr. 7-38) popisuje vedení signálu, elektrického proudu a tlakového vzduchu.





Obrázek 7-38: Schéma vedení signálů, elektrického proudu a tlakového vzduchu

7.6 Návrhové výpočty

V této sekci jsou provedeny návrhové výpočty některých kritických míst úchopného efektoru.

Nosnost šroubů s okem DIN 580

Je třeba ověřit, zda budou pro zavěšení hlavice stačit navržené tři šrouby s okem DIN 580 – M12. Při výpočtech je uvažována nepříznivější varianta zatížení šroubů – pod úhlem (viz třetí sloupec na obr. 7-39).

Závit	Nosnost (kg)	
	1 bod, 90°	2 body, 0° - 45°
M		
M6	70	50
M8	140	100
M10	230	170
M12	340	240
M16	700	500

Obrázek 7-39: Nosnost šroubů s okem DIN 580 dle velikosti závitů a směru působící síly [26]

Hmotnost hlavice $m_{hlavice} \approx 380$ kg

Koeficient bezpečnosti $k_c = 1,5$

Počet šroubů $i = 3$

Nosnost 1 šroubu $m_i = 240$ kg

$$m_i \text{ dovolené} = \frac{m_i}{k_c} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ kg} \quad (7-3)$$

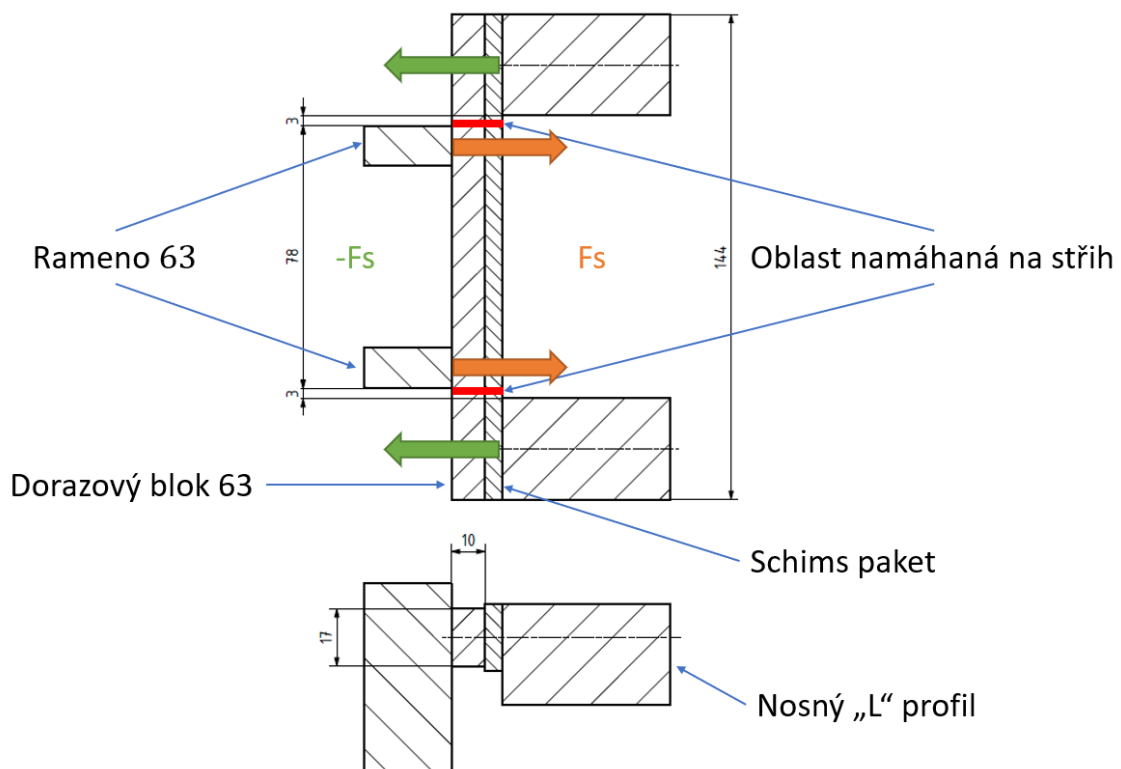
$$m_{dovolené} = m_{i\ dovolené} * i = 160 * 3 = 480 \text{ kg} \quad (7 - 4)$$

$$m_{hlavice} = 380 \text{ kg} \leq m_{dovolené} = 480 \text{ kg} \quad (7 - 5)$$

Nosnost tří šroubů DIN 580 – M12 vyhovuje.

Střih dorazů pro ramínka válců ø63

Během zavírání ramínka pneumatické upínky ø63 hrozí ustřížení dorazového bloku (obr. 7-40).



Obrázek 7-40: Schéma namáhání dorazu pro ramínko válce ø63 na střih

Na střih je namáhán dorazový blok i šims paket. Tloušťka schims paketu však může být v praxi dle konkrétní aplikace rozdílná. Schims paket tedy nebude ve výpočtech zohledněn.

Kritické napětí meze kluzu $\sigma_k = 275 \text{ N/mm}^2$

Koeficient bezpečnosti $k_c = 1,5$

Napětí ve střihu dle hypotézy HMMH:

$$\tau_k = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = \frac{275}{\sqrt{3}} = 158,77 \text{ N/mm}^2 \quad (7-6)$$

$$\tau_D = \frac{\tau_k}{k_c} = \frac{158,77}{1,5} = 105,85 \text{ N/mm}^2 \quad (7-7)$$

Výpočet střihu:

$$\tau = \frac{F_s}{S} \leq \tau_D \quad (7-8)$$

Síla F_s se spočítá z momentu ramínka. Výrobce udává při délce ramínka $l = 200 \text{ mm}$ sílu $F = 3000 \text{ N}$. Z toho vyplývá moment:

$$M = F * l = 3000 * 200 = 600\,000 \text{ Nmm} \quad (7-9)$$

Působíště síly F_s se nachází $x = 70 \text{ mm}$ od osy otáčení ramínka. Z vypočteného momentu zpětně vychází velikost síly F_s :

$$F_s = \frac{M}{x} = \frac{600000}{70} = 8\,571 \text{ N} \quad (7-10)$$

Dosazení do vzorce pro střih:

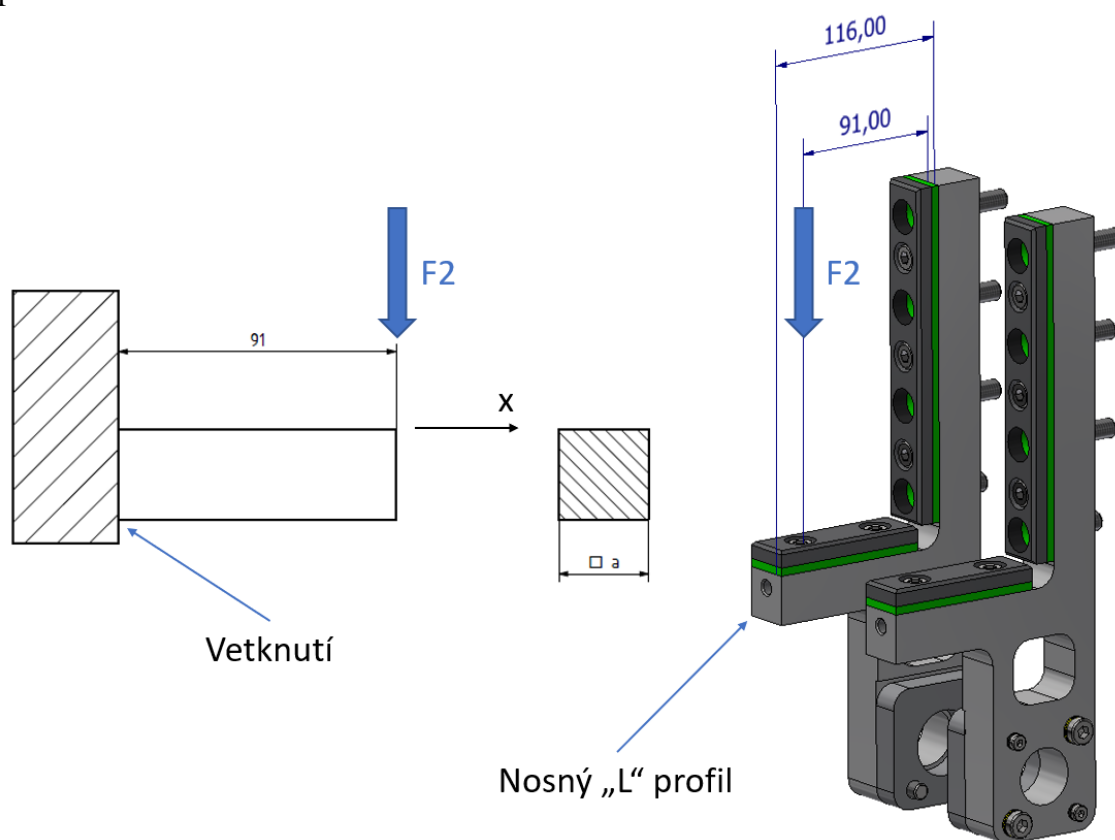
Plocha průřezu $S = 170 \text{ mm}^2$

$$\tau = \frac{F_s}{2*S} = \frac{8571}{2*170} = 25,2 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_D \quad (7-11)$$

Střih dorazového bloku za daných podmínek nenastane.

Posunutí nosných „L“ profilů

Manipulovaný dílec je během stisku zapřen o nosné „L“ profily a deformován silou F_1 , respektive F_2 . Vzhledem k tuhosti rámu ve směru nositelky síly F_1 je toto působení zanedbatelné. Síla F_2 je přes uchycený profil přenášena do spodního ramena nosného „L“ profilu (obr. 7-41). Bude nadimenzována minimální tloušťka „ a “ spodního ramena čtvercového průřezu tak, aby dovolené posunutí na konci ramena bylo maximálně $u_D = 0,1$ mm. Větší výchylka by vnašela chybu do výsledné geometrie stisknutého profilu.



Obrázek 7-41: Zjednodušení geometrie úlohy posunutí konců nosných „L“ profilů

Spodní rameno nosného „L“ profilu je zjednodušeno na vetknutý nosník a je zkoumáno posunutí na jeho volném konci. Volný konec za nositelkou síly F_2 se neuvažuje.

Dovolené posunutí $u_D = 0,1 \text{ mm}$

Youngův modul pružnosti v tahu $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Vzdálenost působíště síly $c = 91 \text{ mm}$

Kvadratický moment průřezu $J = \frac{1}{12} a^4 \text{ mm}^4$

Koeficient bezpečnosti $k_c = 1,5$

Posunutí volného konce vetknutého nosníku se vypočítá dle vztahu:

$$u = \frac{F \cdot c^3}{3 \cdot E \cdot J} \quad (7 - 12)$$

Za posunutí u se dosadí dovolené posunutí u_D . Kvadratický moment se vyjádří pomocí délky strany čtverce a . Síla F_2 se rozdělí mezi všech 8 nosných profilů a vynásobí bezpečnostním koeficientem k_c pro případ nerovnoměrného rozložení:

$$u_D = \frac{F_2 \cdot k_c \cdot c^3}{3 \cdot E \cdot J \cdot 8} = \frac{F_2 \cdot k_c \cdot c^3 \cdot 12}{24 \cdot E \cdot J \cdot a^4} \quad (7 - 13)$$

Vyjádří se délka čtverce strany a :

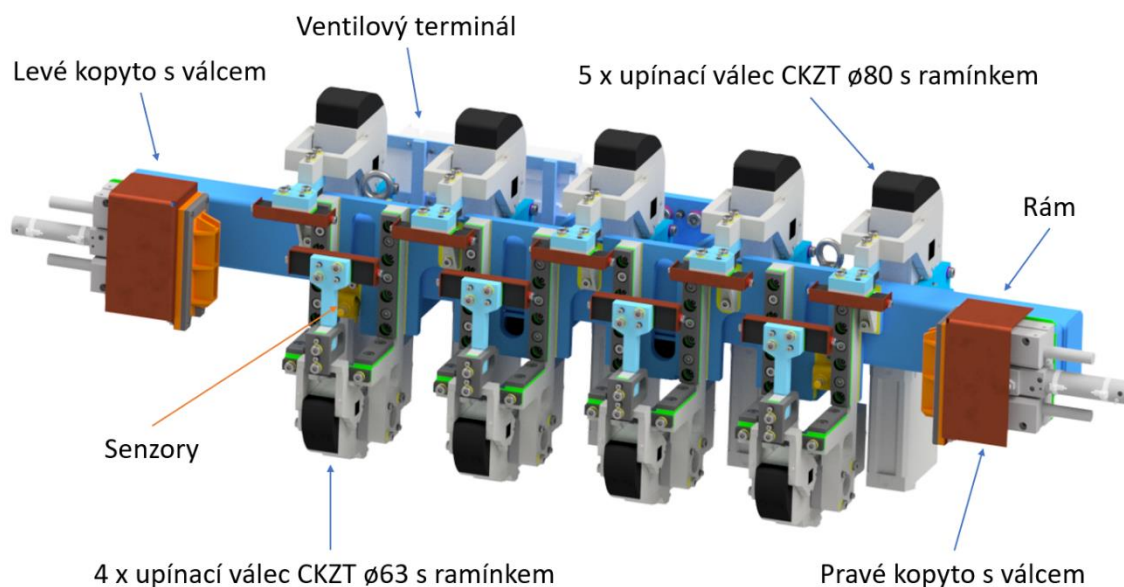
$$a^4 = \frac{F_2 \cdot k_c \cdot c^3}{2 \cdot E \cdot u_D} \quad (7 - 14)$$

$$a = \sqrt[4]{\frac{F_2 \cdot k_c \cdot c^3}{2 \cdot E \cdot u_D}} = \sqrt[4]{\frac{25000 \cdot 1,5 \cdot 91^3}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,1}} = 28,64 \text{ mm} \quad (7 - 15)$$

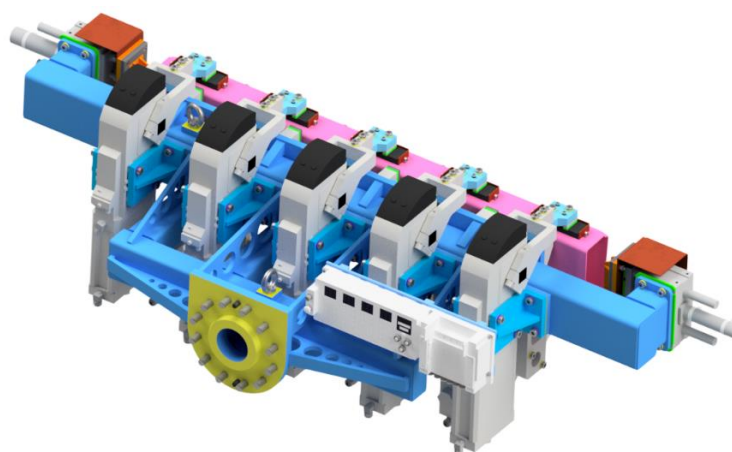
Při konstrukci byla zvolena tloušťka spodního ramena čtvercového průřezu 30 mm , tedy větší než vypočtená minimální tloušťka „ a “.

8 Výsledná manipulační hlavice

Hmotnost navržené úchopné hlavice (obr. 8-1 a obr. 8-2) i s manipulovaným svařencem je přibližně 380 kg. Její těžiště leží 365 mm kolmo od přípojného rozhraní, čímž byla splněna podmínka nosnosti robota IRB 7600. Posun těžiště ve zbylých osách je zanedbatelný. Hlavice je osazena jedenácti pneumatiky, dvěma indukčními senzory a ventilovým terminálem. Manipulace s ní bude probíhat na paletě nebo pomocí jeřábu, na který bude zavěšena přes tři šrouby s okem, umístěné na rámu. Efektor poskytuje přístup ke svaru po celé délce uchopeného dílce na jedno upnutí.



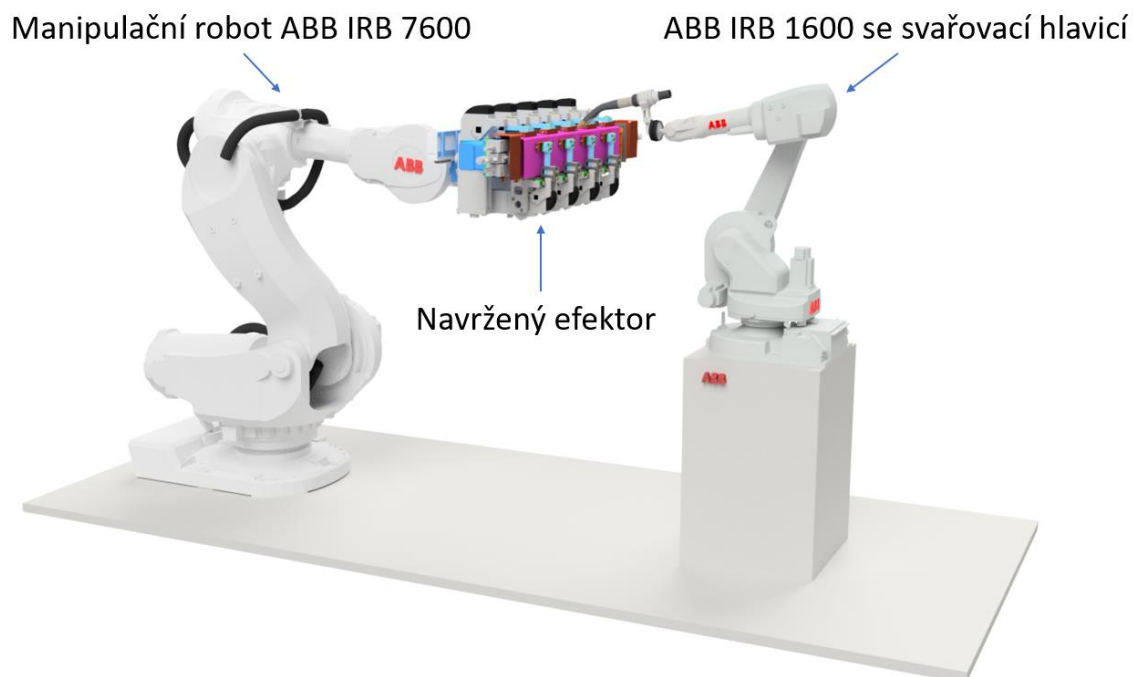
Obrázek 8-1: Navržená manipulační hlavice



Obrázek 8-2: Navržená manipulační hlavice, pohled zezadu

8.1 Ukázka kooperace robotů

V programu Autodesk Inventor Professional 2022 byla pro názornost schematicky namodelována ukázka kooperace dvou robotů. Robot IRB 7600 nese navržený úchopný efektor a na svařovacím robotu IRB 1600 je aplikována svařovací hlavička (obr. 8-3).



Obrázek 8-3: Kooperující roboty s navrženým efektozem

9 Závěr

Byla provedena rešerše na téma koncových efektorů průmyslových robotů a manipulátorů. Rešerše představuje základní struktury průmyslových robotů a manipulátorů, pro které jsou hlavice navrhovány. Dělí hlavice na technologické, manipulační (na které se vzhledem k charakteru zadání práce zaměřuje), kombinované a speciální. Dále rozděluje manipulační hlavice dle jejich úchopných prvků na podtlakové, magnetické a mechanické. V rešeršní části je také popsán rozdíl mezi pasivními a aktivními úchopnými prvky.

Vlastní řešení práce představuje manipulovaný ocelový profil a jeho vlastnosti, jakými jsou rozměry a materiál. Pro představu celé technologické operace jsou popsány i kooperující roboty, tedy manipulační robot ABB IRB 7600 a robot, který ponese svařovací hubici, ABB IRB 1600. Vysvětlena je problematika úchopu dílce, jež je ztížena převážně díky požadavku zadavatele na provedení koutového svaru na svařenci na jedno upnutí. Ta tedy musí ke svaru zajistit přístup a nesmí jej překrývat. Dílec z ohýbaného plechu je navíc nutno před svařováním deformovat uchycením do správného výsledného tvaru.

Návrh úchopné hlavice začíná vysvětlením postupu upínání dílce. Následuje stanovení potřebných přitlačných sil. Velikosti těchto sil byly určeny na základě výsledků MKP simulací deformace profilu v simulační nástavbě Nastran programu Autodesk Inventor Professional 2022. S bezpečnostním koeficientem $k_c = 2$ vyšla velikost síly potřebné k domáčknutí boční stěny profilu $F_1 = 10$ kN a síla potřebná k domáčknutí horní stěny profilu $F_2 = 24$ kN.

V další kapitole jsou popsány náležitosti pohyblivých členů efektoru. Detailně jsou zde uvedeny použité pneumatické pohony, které představují pohyblivé prvky hlavice, a je vysvětlen postup při jejich navrhování a dimenzování. Hlavice je osazena devíti upínacími válci CKZT o průměrech válců $\varnothing 63$ a $\varnothing 80$. Přidržení profilu z boků zajišťují dva válce s vedením MLGC. Některé pohony jsou pneumaticky spřaženy a ve skupinách napojeny na zdroj vzduchu přes ventilový terminál. Ten obsahuje

6 ventilů s maximálním průtokem jednoho až 1551 l/min. Všechny použité komponenty dodává firma SMC. Schéma zapojení pneumatických komponent je součástí příloh.

Na pneumatické válce s vedením je montována sestava kopyta, o které je dílec v hlavici z obou stran zapřen a vystředěn ve vodorovném směru. Na upínací válce jsou nasazena ramínka s dosedacími destičkami přímo deformujícími manipulovaný profil. Ramínka mají své nastavitelné dorazy.

Při konstrukci rámu a součástí pro pneumatické komponenty je po celou dobu pamatováno na funkčnost, nízké výrobní náklady a snadnou smontovatelnost. Konstrukčním materiálem je ocel S275JR. Použity jsou primárně normalizované polotovary, nejčastěji tlusté plechy a ocelové profily – jekly. Chapadlo je k robotu připojeno atypickou přírubou. Součásti jsou svařovány do sestav, poté montovány dohromady šroubovými spoji. Rozebíratelné spoje tvořené šrouby DIN 7984 typu „imbus“ jsou pojištěny protivibračními podložkami NORD-LOCK. Příprava pro manipulaci s hlavici je zajištěna šrouby s oky DIN 580. Všechny díly, které je třeba vůči sobě přesně usadit, jsou při montáži sesazeny pomocí kolíků a přesných děr. Pro doladění vzdáleností součástí jsou mezi ně montovány schims pakety – korekční plíšky. Plochy, jež budou v kontaktu s manipulovaným dílcem a budou vystaveny odírání, lze při opotřebení snadno vyměnit. Komponenty přímo exponované svařovacímu procesu jsou chráněny proti rozstříkujícím se kapičkám kovu měděným plechem, na kterém rozstřík neulpívá.

Kalibrace polohy hlavice v prostoru pro zajištění bezchybné kooperace se svařovacím robotem probíhá pomocí kalibračních trnů.

Přítomnost dílce v hlavici kontrolují dva indukční snímače umístěné na obou koncích chapadla.

Kapitola návrhových výpočtů ověřuje správnost použití některých zvolených komponentů a konstrukčních uzlů.

Práce končí ukázkou kooperace manipulačního robota s navrženým efektozem a robota svařovacího. Vyřešen byl taktéž přípravek nesoucí manipulovaný ocelový dílec na dopravníku.

Navržená manipulační hlavice má hmotnost přibližně 380 kg i s uchopeným svařencem, splňuje nároky na nosnost robota a vyhovuje požadavku na přístup svařovacího robota k manipulovanému dílci.

Součástí práce je CAD model sestavy manipulačního koncového efektoru, sestavný výkres s kusovníkem, výkresy podsestav s kusovníky a výrobní výkresy vybraných součástí. V přílohách je doloženo také schéma zapojení pneumatických komponent úchopné hlavice.

Reference

- [1] BLECHA, P., KOLÍBAL, Z., KNOFLÍČEK, R., POCHYLÝ, A., KUBELA, T., BLECHA, R., BŘEZINA, T. *Mechatronika, Modul 10: Robotika* [online]. 2008, [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://adoc.pub/mechatronika-modul-10-robotika.html>
- [2] SKAŘUPA, J. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Vysoká škola báňská–Technická univerzita. Ostrava, 2007, 1 CD-R [cit. 2022-01-19]. ISBN 978-80-248-15522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivecd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf.
- [3] ABB IRB 7600. *ABB* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-7600>
- [4] ABB IRB 660. *ABB* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-660>
- [5] ABB IRB 910SC SCARA. *ABB* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-910sc>
- [6] Maximum performance with delta robots. *BR automation* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/machine-centric-robotics/roboticke-portfolio/maximum-performance-with-delta-robots/>
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. 1. Brno: VUTIUM, 2016. 294 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [8] PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika: koncové efekty pro priemyselné a servisné roboty: navrhovanie – konštrukcia – riešenie*. 1. vyd. Košice, 2004. 272 s. ISBN 80-807-3218-3.
- [9] Лазерная резка и гибка металла. *METAL CASE* [online]. 2011 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <http://metal-case.ru/lazernaia-rezka-i-gibka-metalla/>
- [10] CHVÁLA, B., MATIČKA, R., TALÁCKO, J. *Průmyslové roboty a manipulátory*. České vysoké učení technické v Praze. Praha, 1987. 262 s.

- [11] Роботизированная обработка. *BLUMENBECKER* [online]. 2020 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/ru/promyshlennaja-avtomatizacija/promyshlennaja-robototekhnika/robotizirovannaja-obrabotka>
- [12] SKAŘUPA, J., ZELINA, P. *Hlavice průmyslových robotů*. 1. vyd. Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 105 s.
- [13] Lakovací roboty. *FACTORY AUTOMATION* [online]. 2014 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/lakovaci-roboty-a-6-veci-ktete-jste-o-nich-mozna-nevedeli/>
- [14] KOLÍBAL, Z. *Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavic a periferií*. VUT Brno. Brno, 1993. 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [15] ABB IRB 2600ID. *ABB* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-2600id>
- [16] VG10 - PODTLAKOVÝ UCHOPOVAČ. *OnRobot* [online]. 2020 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://onrobot.com/cs/vyrobky/elektricky-podtlakovy-uchopovac-vg10>
- [17] Magnetická úchopná hlavice. *SMC* [online]. 2022 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/skupiny-prvku/magneticka-uchopna-hlavice>
- [18] *Efektory a periferní zařízení robotů* [online]. HOTAŘ, Vlastimil. Liberec, 2019 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz>
- [19] EMI. EOAT R14 - Engineering & Reference Section [online]. 2020 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: https://www.emicorp.com/images/items/docs/gripper_formulas.pdf.
- [20] Robot Gripper. *Association for advancing automation* [online]. 2018 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.automate.org/blogs/the-emergence-of-smart-collaborative-robot-grippers>
- [21] ONROBOT. RG2-FT [online]. 2020 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://onrobot.com/>

-
- [22] SCHUNK. EGP [online]. 2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z:
<https://schunk.com/>
- [23] Load diagrams, IRB 7600 - 500/2.55. In: *ABB Robotics* [online]. 2019 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-7600>
- [24] Válec s vedením, s brzdou, MLGC25. In: *SMC Pneumatics.com* [online]. USA, 2017 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z:
<https://www.smc Pneumatics.com/MLGCLB32TN-200-R-E-M9N.html>
- [25] Upínací válec, CKZT80. In: *SMC India* [online]. Indie, 2018 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.smcin.com/content/product-category/clamp-cylinders-165>
- [26] Parametry a nosnost DIN 580. In: *TEDOX* [online]. Příbram, 2022 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: <https://www.tedox.cz/din-580-din-582>

Seznam použitých obrázků

Obrázek 3-1: Šestiosý průmyslový robot od firmy ABB, model IRB 7600 [3]	13
Obrázek 3-2: Paletizační robot IRB 660 od společnosti ABB [4]	14
Obrázek 3-3: Robot typu SCARA IRB 910SC od společnosti ABB [5]	15
Obrázek 3-4: Delta robot od společnosti ABB [6]	15
Obrázek 4-1: Robotický koncový efektor pro laserové řezání. [9]	17
Obrázek 4-2: Příklad obrábění robotickou hlavicí, zde konkrétně frézování [11]	17
Obrázek 4-3: Lakovací technologická hlavice [13]	18
Obrázek 4-4: Svařovací hlavice na průmyslovém robotu [15]	18
Obrázek 4-5: Podtlaková úchopná hlavice s přísavkami, VG10, firma OnRobot [16] ..	21
Obrázek 4-6: Magnetický úchopný koncový efektor [17]	22
Obrázek 4-7: Silový úchop (vlevo) a tvarový úchop s prizmatickými lůžky (vpravo) [19]	23
Obrázek 4-8: Mechanická úchopná hlavice se dvěma prsty [20]	24
Obrázek 4-9: Úchopná hlavice RG2-FT od společnosti OnRobot [21]	24
Obrázek 4-10: Úchopná hlavice EGP od firmy Schunk [22]	25
Obrázek 4-11: Kombinované chapadlo [7]	26
Obrázek 6-1: Manipulovaný profil	28
Obrázek 6-2: Geometrie manipulovaného profilu ve výchozím stavu, pohled z boku ..	29
Obrázek 6-3: Ukázka budoucí kooperace dvou robotů. Manipulační robot ponese navrhovaný efektor	30
Obrázek 6-4: Robot ABB IRB 7600 - 500 / 2.55	31
Obrázek 6-5: Diagram nosnosti robota IRB 7600 - 500 v závislosti na poloze těžiště koncevého efektoru [23]	32
Obrázek 6-6: Robot ABB IRB 1600 - 10 / 1.45 se svařovací hlavicí	32
Obrázek 7-1: Schematický návrh přípravku, který ponese manipulovaný ocelový profil na dopravníku	33
Obrázek 7-2: Ukázka tvarové kompatibility hlavice s přípravkem pro dílec	34
Obrázek 7-3: Schéma postupu upínání profilu	35
Obrázek 7-4: Schéma postupu upínání profilu, pohled z boku	36
Obrázek 7-5: Nastavení simulace velikosti přítlačných sil	37

Obrázek 7-6: Vlevo výsledná deformace dílce se skutečnými hodnotami posunutí v kontrolních bodech, vpravo požadované hodnoty posunutí	39
Obrázek 7-7: Výsledná poloha všech pneumatických válců vzhledem k manipulovanému dílci	40
Obrázek 7-8: Ventilový terminál, SMC.....	42
Obrázek 7-9: Pozice kopyt na rámu hlavice	43
Obrázek 7-10: Válec s vedením s kopytem	43
Obrázek 7-11: MLGC, Válec s vedením, s brzdou, ø32, SMC [24]	44
Obrázek 7-12: Středící kopyto s ochranným měděným plechem	45
Obrázek 7-13: Jehlanovitá geometrie kopyta vyskládaná z kratších a delších, do sebe zapadajících, plechů.....	46
Obrázek 7-14: Upínací válec s ramínkem.....	47
Obrázek 7-15: Upínací válec CKZT ø80, SMC [25].....	48
Obrázek 7-16: Pozice upínacích válců s ramínky na rámu hlavice	49
Obrázek 7-17: Pozice upínacích válců s ramínky, růžově vyznačen prostor pro manipulovaný dílec a přístup ke svaru, pohled z boku.....	49
Obrázek 7-18: Ramínko pro válec CKZT ø80.....	51
Obrázek 7-19: Ramínko pro válec CKZT ø63.....	52
Obrázek 7-20: Dorazy ramínek.....	52
Obrázek 7-21: Vlevo dosednutí ramínek na dorazy, vpravo umístění dorazů vzhledem k nosným "L" profilům	53
Obrázek 7-22: Čelní pohled na těleso rámu, dodatečně obráběné plochy žlutě	54
Obrázek 7-23: Pohled na těleso rámu zezadu, dodatečně obráběné plochy žlutě	54
Obrázek 7-24: Připojovací příruba, plochy obráběné po přivaření příruby k rámu žlutě	56
Obrázek 7-25:Dvojice nosných "L" profilů	56
Obrázek 7-26: Poloha nosných "L" profilů na rámu hlavice.....	57
Obrázek 7-27: Vlevo měnitelná kontaktní plocha na kopytě, vpravo na nosných "L" profilech.....	58
Obrázek 7-28: Příklad schims paketu v základním seskupení (5 mm).....	58
Obrázek 7-29: Použití schims paketů (zeleně) na jednotlivých součástech	59
Obrázek 7-30: Ochranné měděné kryty umístěny na komponentech.	60

Obrázek 7-31: Klec pro ventilový terminál	61
Obrázek 7-32: Podložka Nord-Lock	62
Obrázek 7-33: Šroub s okem DIN 580	63
Obrázek 7-34: Pozice tří šroubů s okem DIN 580 na rámu hlavice	63
Obrázek 7-35: Kalibrační trny s kalibračními hroty, vlevo s krytem, vpravo obnažený	64
Obrázek 7-36: Indukční snímač BALLUFF připravený pro instalaci na rám hlavice....	65
Obrázek 7-37: Rozmístění indukčních snímačů (oranžově) na rámu hlavice, patrný zákryt mezi nosné "L" profily	66
Obrázek 7-38: Schéma vedení signálů, elektrického proudu a tlakového vzduchu	67
Obrázek 7-39: Nosnost šroubů s okem DIN 580 dle velikosti závitů a směru působící síly [26].....	68
Obrázek 7-40: Schéma namáhání dorazu pro ramínko válce ø63 na stříh	69
Obrázek 7-41: Zjednodušení geometrie úlohy posunutí konců nosných „L“ profilů.....	71
Obrázek 8-1: Navržená manipulační hlavice	73
Obrázek 8-2: Navržená manipulační hlavice, pohled zezadu	73
Obrázek 8-3: Kooperující roboty s navrženým efektozem	74

Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional 2022
- Autodesk Inventor Nastran 2022
- Microsoft office 365
- SMC PneuDraw

Seznam příloh

Papírové přílohy:

- Výkresová dokumentace sestavy s kusovníkem:
BP0282-0000-0001-uchopna hlavice
- Výkresová dokumentace podsestav s kusovníky:
BP0282-0001-0000-ram
BP0282-0002-0000-nosne L profily
BP0282-0003-0000-raminka 80
BP0282-0004-0000-raminka 63
BP0282-0005-0000-dorazy 80
BP0282-0006-0000-dorazy 63
BP0282-0007-0000-drzaky upinek 80
BP0282-0008-0000-kopyto leve
BP0282-0009-0000-kopyto prave
BP0282-0010-0000-senzorika
BP0282-0011-0000-klec pro ventilovy terminal
- Výrobní výkresy:
BP0282-0003-0001-raminko 80
BP0282-0003-0002-distančni blok raminko 80
BP0282-0003-0003-dosedací destička raminko 80
BP0282-0003-0004-doraz na raminko 80
BP0282-0003-0005-medeny pasek raminko 80

-
- Schéma zapojení pneumatického obvodu:
BP0282-0020-0001-schema pneumatickeho obvodu

Elektronické přílohy:

- 3D CAD model úchopné hlavice v programu Autodesk Inventor Professional 2022 ve formátu .ipt, resp. .iam:
BP0282-0000-0001-uchopna hlavice
- 3D CAD model ve formátu .stp