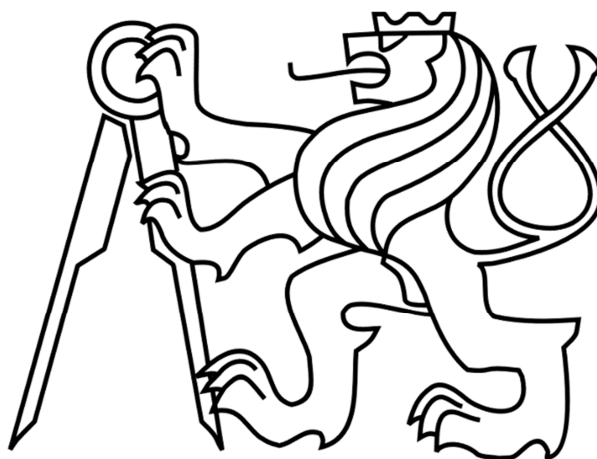


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Návrh robotického pracoviště na překládání „sběrných trubek“

Prohlášení

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

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

V Praze dne 12.6.2015

.....
podpis

Poděkování

Úvodem bych rád poděkoval panu doc. Ing. Vladimírovu Andrlíkovi, CSc. a Ing. Jiřímu Duspivovi za vedení, odborné konzultace a podnětné připomínky k mé práci

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost, se kterou mě podporovali při studiu a tvorbě této diplomové práce.

Anotace

Jméno autora :	Bc. Aleš Červenka
Název DP :	Návrh robotického pracoviště na překládání „sběrných trubek“
Rozsah práce :	94str.
Šk. rok vyhotovení:	2014/2015
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav :	12135 Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí DP :	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultant :	Ing. Jiří Duspiva
Zadavatel tématu :	ABB s.r.o.
Využití :	Automatizace části stávajícího pracoviště
Klíčová slova :	Průmyslový robot, robotické technologické pracoviště, automatizace, robotické vidění
Anotace :	Předložená diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí robotizovaného pracoviště pro překládání „sběrných trubek“ na sušící a odmašťovací lince. Dle zadaných podmínek bylo navrženo robotické pracoviště, které umožňuje spolehlivý a hospodárný chod linky.

Annotation

Author :	Bc. Aleš Červenka
Title of bachelor dissertation :	The Design of robotized Workstation for replacing "collector tubes"
Extent :	94 pgs
Academic year:	2014/2015
Univuersity:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department :	12135 Department of Production Machines
Supervisor :	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Jiří Duspiva
Submitter of the theme:	ABB s.r.o.
Application :	Automation parts of existing workplace
Key words :	Industrial robot, robotized technology wordstation, automation, robotic vision
Annotation :	Thesis deals with design and construction of robotized workplace for replacing "collector tubes" on drying and degreasing line. According to specified conditions, a workplace has been designed that allows reliable and economical operation of the line.

Obsah	
1 Úvod.....	11
2 Cíle práce.....	12
3 Návrh robotizovaného technologického pracoviště	13
3.1 Popis technologie DipFluxer	13
3.2 Průmyslové roboty.....	14
3.3 Úchopné hlavice	16
3.3.1 Aktivní mechanické úchopné hlavice	17
3.4 Robotické vidění – navigace robotu.....	19
3.4.1 Metody snímání předmětu	20
3.4.2 Triangulace	21
3.5 Bezpečnost na pracovišti.....	24
4 Rozbor stávajícího pracoviště	31
4.1 Specifikace linky DipFluxer.....	31
4.1.1 Současný stav linky	31
4.1.2 Požadovaný stav linky	33
4.1.3 Specifikace překládaných sběrných trubek.....	36
4.1.4 Vstup a výstup jednotlivých pracovišť	36
4.1.5 Všeobecné funkční požadavky	38
5 Koncepční návrhy – vlastní řešení	39
5.1.1 Výběr nejvhodnějšího řešení.....	44
6 Specifikace částí robotického pracoviště	45
6.1 Průmyslový robot.....	45
6.2 Úchopná hlavice	48
6.2.1 Úchopná hlavice MHL2 – 25D	51
6.3 Externí zásobník sběrných trubek	57
6.4 Navigace robotů	59

6.4.1	Kamerový systém	59
6.4.2	Snímání rychlosti	60
6.5	Bezpečnostní systém	61
7	Výpočtová část.....	64
7.1	Kontrolní a návrhové výpočty úchopné hlavice	64
7.2	Kontrola bezpečnosti uchopení	74
7.3	Klopné momenty od uchopeného předmětu.....	75
7.4	Setrvačné momenty od úchopné hlavice.....	78
7.5	Kontrola času pracovních cyklů.....	80
7.6	Produktivita navrženého pracoviště.....	82
7.7	Ekonomické hodnocení	83
8	Finální popis činnosti pracoviště	85
9	Závěr.....	87
10	Seznamy.....	89
10.1	Seznam použité literatury.....	89
10.2	Seznam Obrázků:.....	91
10.3	Seznam Tabulek	93
10.4	Seznam příloh	94

Přehled použitých veličin

Symbol	Jednotka	Veličina
τ ; τ_D	[MPa]	Smykové napětí; dovolené smykové napětí
μ	[-]	Součinitel smykového tření
A	[mm]	Plocha pístu úchopné hlavice
a_D	[m.s ⁻²]	Decelerace robotu
a_r	[m.s ⁻²]	Akcelerace robotu
CF	[CZK]	Cash flow
d	[mm]	Průměr střížného čepu
Dn	[CZK]	Odpis
F; F _g ; F _N ; F _t ; F _U	[N]	Síla; gravitační síla; normálová síla; tečná síla; úchopná síla
g	[m.s ⁻²]	Gravitační zrychlení
h; h ₁ ; h ₂	[mm]	Vzdálenosti úchopných bodů hlavice
J _{a5} ; J _{a6}	[kg.m ²]	Dovolené momenty setrvačnosti na koncové osy robotu
J _{ox} ; J _{oy} ; J _{oz}	[kg.m ²]	Momenty setrvačnosti úchopné hlavice k ose otáčení
K	[-]	Bezpečnost uchopení předmětu
KR	[hod]	Roční kapacita pracoviště
l ₁ ; l ₂	[mm]	Vzdálenost mezi úchopnými silami
m; m ₁ ; m ₅	[kg]	Hmotnost; hmotnost jedné trubky; hmotnost pěti trubek
M _{D1} ; M _{D2}	[N.m]	Dovolené klopné momenty na úchopnou hlavici
M _{a1,2} ; M _{b1,2} ; M _{c1,2}	[N.m]	Klopné momenty působící na úchopnou hlavici
n	[-]	Počet úchopných prstů hlavice
NVP	[CZK]	Čistá současná hodnota
p	[MPa]	Tlak v obvodu
p _{1,2}	[MPa]	Tlak ve stykových plochách
P _n	[CZK]	Úspora v daném roce provozu
P _p	[ks/rok]	Produktivita pracoviště
Q	[l.min ⁻¹]	Průtok vzduchu obvodem
r	[-]	Diskontní hodnota
R _{Ax,y,z} ; R _{Bx,y,z}	[N]	Reakční síly v kolíkových spojích
S	[mm ²]	Plocha pístu
s _i	[m]	Dráha přejezdu s konstantní rychlostí
S _s	[mm ²]	Střížná plocha kolíku
S _{t1} ; S _{t2}	[mm ²]	Otlačované plochy pístu
T ₁ ; T ₅ ; T _{max}	[N]	Posouvající síly od uchopení

t_i	[s]	Čas trvání transportu
t_L	[s]	Časový interval přisunu trubek
TR	[-]	Daň z příjmu právnických osob
t_{vmax}	[s]	Čas dosažení maximální rychlosti robotu
v	[m.s ⁻¹]	Rychlost přiblížení pístu pneumotoru
v_{max}	[m.s ⁻¹]	Maximální rychlost manipulace
$x; y; z$	[mm]	Vzdálenost těžiště úchopné hlavy od TCP
$x_T; y_T; z_T$	[mm]	Vzdálenost těžiště uchopených trubek

1 Úvod

Robotická pracoviště jsou dnes nedílnou součástí velkých a středně velkých společností, kde roboty zasahují do nejrůznějších průmyslových odvětví. Úkolem robotických pracovišť je napomáhat v odbourávání nebezpečné, namáhavé a monotónní práce člověka. V neposlední řadě je úkolem robotických pracovišť snížení finančních nákladů na provoz daného pracoviště.

Na robotická pracoviště jsou dnes kladeny vysoké požadavky na neustále zvyšující se hodnoty funkčních parametrů strojů, jako jsou zrychlení, rychlost, přesnost polohování, výkon atd.

Na tyto výkonové parametry navazují další „nevýkonové“ charakteristiky, jako jsou spolehlivost, kvalita, životnost, s postupujícím časem také desing, ekologie provozu či ekonomika (jak provozní, tak pořizovací náklady).

2 Cíle práce

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout robotické pracoviště, které umožní automatizaci části výrobní linky na sběrné trubky a tím odstranit lidskou monotónní práci v prašném prostředí, což je mimo finanční úsporu hlavní motivací pro vytvoření automatizovaného pracoviště.

Podoba stávajícího pracoviště není vhodná pro automatizovaný provoz, proto je nutné navrhnout změny samotné linky tak, aby měla robotizace co největší efekt s minimální finanční náročností. Tyto navržené změny prezentovat zákazníkovi, který samotnou úpravu linky zajistí.

Navržené pracoviště musí být schopno zvládnout současný takt linky, s nejrychlejším cyklem daným rychlostí ($v = 2,5m/min$) vstupního dopravníku a dále by mělo být schopné reagovat na případné zrychlení technologického zpracování sběrných trubek.

Dalším neméně důležitým cílem je, aby návratnost navrženého robotické pracoviště byla nejpozději v polovině pětiletého odpisového období.

3 Návrh robotizovaného technologického pracoviště

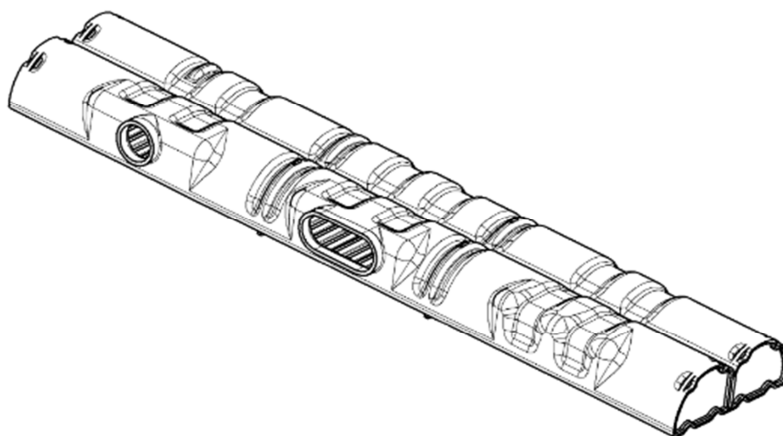
Při návrhu robotického technologického pracoviště (dále jen RTP) je nutné pochopit, že se jedná o kontinuální technologicko – ekonomickou činnost tvůrčího charakteru. Tato činnost představuje především zpracování různých variant technologií výroby, montáže a organizace uspořádání ve výrobních systémech.

Při návrhu RTP je tedy nutné postupovat systémově od základních věcí jako je dokonalé seznámení se s technologií výroby, pro kterou se bude pracoviště navrhovat, a to i za předpokladu, že roboty nebudou přímo součástí dané technologie, ale budou pouze odebírat výrobky z dopravníku na konci pracovního procesu. Tak tomu bude i v případě této práce.^[1]

3.1 Popis technologie DipFluxer

Zařízení Dipfluxeru se skládá ze dvou bloků: sušící a zároveň odmašťovací pece a ponorné nádrže. Mastné komponenty, sběrné trubky, v prvním kroku projedou pecí, kde dojde k jejich odmaštění. Jako mazivo je v průběhu lisování sběrných trubek použit olej, jehož odmaštění je realizováno odpařením při teplotách 150-250°C.

Sběrná trubka (*Obr. 3.1*) je firemní označení pro spodní a horní část výměníků tepla u chladících zařízení automobilů. Tato sběrná trubka spojuje tzv. vlnovec, kterým proudí chladící kapalina z motoru a ochlazuje se tu. Sběrná trubka je hliníkový výlisek, který spojuje jednotlivé kanálky ve vlnovci a umožňuje odvod/přívod chladící kapaliny z, resp. do chlazeného zařízení, povětšinou z, resp. do motoru.



Obr. 3.1 Příklad jedné z mnoha variant sběrných trubek^[9]

Takto připravené trubky jsou v navazujícím vzduchovém chlazení ochlazeny na teplotu pod 50 °C. Následně jsou převezeny k ponorné nádrži, kde jsou ponořeny do lázně tvořené fluoridem hlinito-draselným [KAlF₄] s destilovanou vodou. Po odkapání jsou opět převezeny do pece, kde v druhém průjezdu dojde k odpaření vody a vytvrzení fluoridu hlinito-draselného. Po dalším ochlazení jsou komponenty baleny a přepravovány k dalším výrobním úkonům.

Doposud je vkládání/vyjímání trubek do/z zařízení Dipflexeru, vkládání, resp. vyjímání do, resp. z ponorné lázně a jejich balení prováděno ručně. Tato monotónní a namáhavá práce má být nahrazena automatickým robotickým technologickým pracovištěm. Toto pracoviště musí být navrženo tak, aby bylo možné manipulovat až s dvaceti různými variantami trubek, které se liší délkou, šířkou a tvary otvorů pro odvod, resp. přívod kapaliny.

3.2 Průmyslové roboty

Obor průmyslových robotů představuje v dnešní době jeden z nejvyspělejších a nejrychleji se vyvíjející podskupin manipulačních zařízení. Využívají se pro celou řadu průmyslových aplikací, neboť jejich hlavní výhodou je rychlá změna programu, možnost změny úchopné hlavice a tím i možnost manipulovat s různými tvary a druhy předmětů. Základní rozdělení vyplývá z kinematické struktury robotu.

Kinematické struktury:

a) Sériová kinematická struktura

Sériová kinematická struktura je dnes použita cca u 90 % současných robotů a manipulátorů, typický zástupce těchto robotů viz *Obr. 3.2*. Tato struktura se vyznačuje poměrně malou tuhostí, vzhledem k celkové hmotnosti robotu, menší opakovatelnou přesností polohování ve srovnání s níže uvedenou strukturou paralelní. Díky sériovému spojení kinematických dvojic se všechny chyby a nepřesnosti sčítají a tato sumace se může neblaze projevit na koncovém členu robotu. Tyto chyby jednotlivých kinematických dvojic mohou způsobit snížení přesnosti polohování nebo snižovat tuhost.



Obr. 3.2 Příklad robotu se sériovou kinematickou strukturou společnosti ABB^[9]

Mezi hlavní výhody robotů se sériovou kinematickou strukturou patří jejich nosnost, která se pohybuje v rozsahu od jednotek do stovek kilogramů, dále pak velikost pracovního prostoru, snadná změna orientace uchopeného předmětu, snadné programové řízení, snadná změna programu a jednodušší konstrukce ve srovnání s roboty s paralelní kinematickou strukturou. Roboty se sériovou kinematickou strukturou se tedy používají zejména tam, kde je potřeba manipulovat s rozměrnějšími předměty na relativně velké vzdálenosti a rychlou změnou orientace. I přes tyto skutečnosti se dnes začínají objevovat malé angulární roboty s malou nosností a velkou dynamikou pohybu.^[3]

b) Paralelní kinematická struktura

Paralelní kinematická struktura (Obr. 3.3) se vyznačuje především vysokou dynamikou pohybu, velkou tuhostí při malých hmotnostech robotů a velkou opakovatelnou přesností polohování v řádech setin milimetru. Vysoká dynamika ovšem přináší sníženou nosnost (do 10 kg) a vysoké nároky na řízení. Z těchto důvodů se paralelní struktury robotů využívají jen pro velmi rychlou manipulaci s drobnými předměty na malém manipulačním prostoru. Z tohoto důvodu se ve většině průmyslových aplikacích používají roboty se sériovou kinematickou strukturou.^[3]

Mezi hlavní výrobce robotů na evropském trhu se řadí především ABB, FANUK či KUKA.



Obr. 3.3 Příklad robotu s paralelní kinematickou strukturou společnosti ABB^[9]

3.3 Úchopné hlavice

Úchopná hlavice je součástí robotu nebo manipulátoru, která uzavírá polohovací a orientační kinematický řetězec daného manipulátoru nebo robotu. Úchopná hlavice představuje výstupní orgán robotu. Její hlavní funkce je pevně uchopit předmět (definovanou úchopnou silou) a zaručit jeho bezpečné přemístění na definované místo. Úchopné hlavice mají několik variant, které především závisí na uchopovaném předmětu a stupni multifunkčnosti, pro který je hlavice navržena. Jejich základní rozdělení lze provést dle následujících kritérií : ^{[4][6]}

- rozdělení dle úchopných prvků:
 - s mechanickými úchopnými prvky:
 - ◆ pasivní - pevné podpěry, odpružené čelisti
 - ◆ aktivní - pohyblivé čelisti s pohonem
 - s podtlakovými úchopnými prvky:
 - ◆ pasivní - deformační přísavky
 - ◆ aktivní - přísavky s řízeným podtlakem
 - s magnetickými úchopnými prvky:
 - ◆ pasivní - permanentní magnety
 - ◆ aktivní - elektromagnety
- rozdělení dle mechanického styku hlavice a uchopovaného předmětu:
 - s oboustranným mechanickým stykem :

- ◆ jedná se o hlavice s mechanickými výstupy, které působí proti sobě a tím předmět svírají, podobně jako lidská ruka.
- *s jednostranným mechanickým stykem:*
 - ◆ jedná se o hlavice, které využívají pro uchopení gravitačních, magnetických a podtlakových sil.

Dále lze úchopné hlavice rozdělit dle uchopovacích možností v závislosti na rozmanitosti uchopovaných předmětů na hlavice:

- *účelové* - možnost uchopit pouze konkrétní předmět
- *vícerozsahové* - možnost uchopit předměty stejného tvaru, různých rozměrů
- *univerzální* - možnost uchopit předměty různých tvarů a rozměrů

Při zpětném pohledu je zřejmé, že pro dané uchopované předměty (sběrné trubky klimatizace) lze rovnou vyloučit úchopné hlavice s jednostranným stykem, které vyvozují úchopnou sílu pomocí magnetických nebo podtlakových sil, neboť sběrné trubky jsou z nemagnetického materiálu a jejich tvar není vhodný pro podtlakovou techniku, jak vyplývá z popisu manipulovaných předmětů. Z kapitoly 3.1 vyplývá, že sběrné trubky jsou různých tvarů a velikostí, což vyřazuje z bodu zájmu také pasivní mechanické hlavice. Z těchto důvodů bude v následujícím textu věnována pozornost pouze aktivním mechanickým úchopným hlavicím s oboustranným stykem.

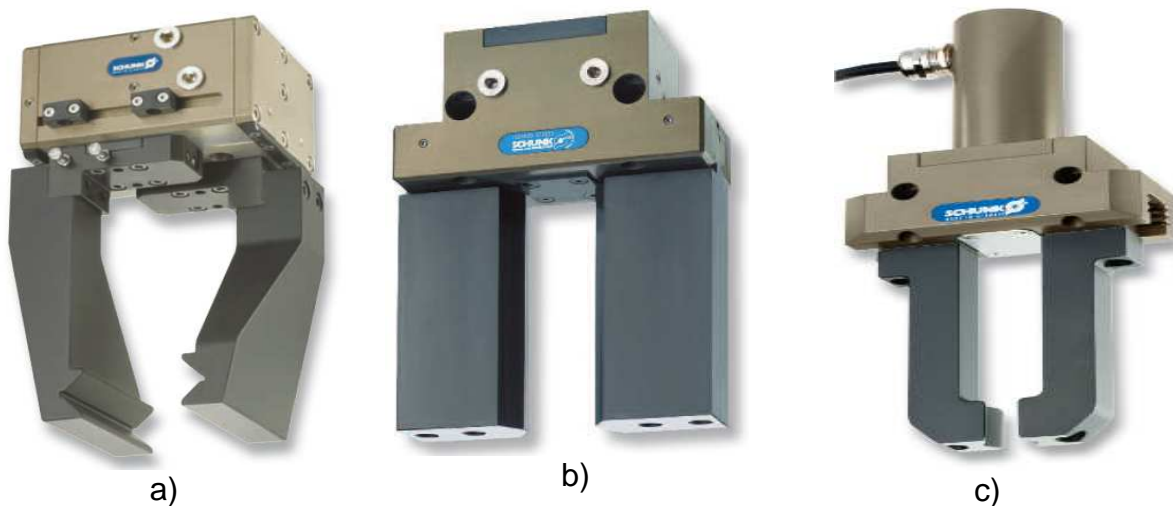
3.3.1 Aktivní mechanické úchopné hlavice

Aktivní mechanické úchopné hlavice s oboustranným stykem jsou charakteristické tím, že mají alespoň jeden pohyblivý (aktivní) úchopný prvek s vlastním pohonem a jeden prvek opěrný (pasivní).

Vzhledem k nepřebernému množství rozdílných předmětů pro uchopení, je sériová výroba úchopným hlavic soustředěna pouze pro takové tvary výrobků, které lze upnout mezi dvě či tři pohyblivé čelisti. Příklady sériově vyráběných úchopných hlavic s různými pohony aktivních prvků viz Obr. 3.4.

- Aktivní mechanické úchopné prvky jsou poháněny:
 - *pneumaticky (Obr. 3.4a)*

- *hydraulicky (Obr. 3.4b)*
- *elektricky (Obr. 3.4c)*
- *kombinovaně*



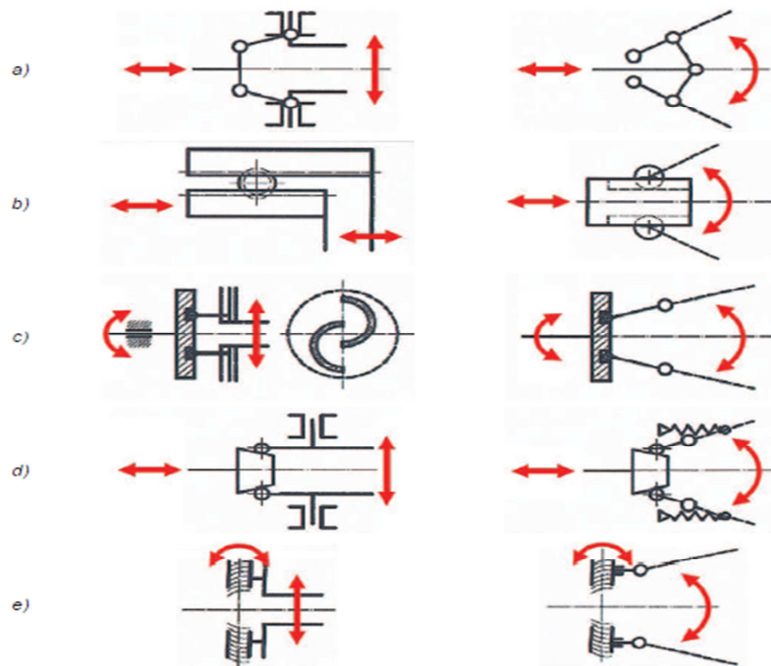
Obr. 3.4 Sériově vyráběné hlavice: a) *pneumatická*; b) *hydraulická*; c) *elektronická*^[7]

Pokud pro daný manipulovaný předmět není k dispozici žádná vhodná, sériově vyráběná, úchopná hlavice, je nutné tuto hlavici navrhnout. Ve většině případů se navrhuje aktivní úchopné hlavice tvořené třemi hlavními bloky, potom se jedná o *mechanickou úchopnou hlavici s transformačním blokem* se strukturou **M – T – U** ^{[3]:[6]}

- M** - motor (pneumotor, hydromotor, elektromotor)
- T** - transformační blok
- U** - aktivní úchopný prvek

Transformační blok představuje mechanický převod, který převádí základní pohyb motoru, lineární nebo rotační, na svěrný pohyb aktivních úchopných prvků. Tím zajistí přizpůsobení charakteru pohybu nebo jeho parametrů a případně i synchronizaci více úchopných prvků. Podle typu mechanismu lze rozlišovat následující typy transformačních bloků (*Obr. 3.5*) : ^{[2][3][5]}

- *pákový*
- *ozubený*
- *vačkový*
- *šablonový*
- *šroubový*



Obr. 3.5 Mechanismy transformačních bloků^[3]

Jak je vidět na Obr. 3.5, transformační blok převádí lineární, resp. rotační pohyb motoru na lineární, resp. rotační pohyb aktivních úchopných prvků.

Pokud hlavice transformační blok nemá, jedná se o tzv. *mechanickou úchopnou hlavici bez transformačního bloku* se strukturou $M - U$, kde jsou motory přímo spojeny s úchopnými prvky. Z tohoto vyplývá, že každý úchopný prvek musí mít svůj vlastní motor, což přináší problémy se synchronizací při větším počtu prvků. Proto bývají tyto typy úchopných hlavic konstruovány jako jednovprvkové. Jejich hlavní výhodou je jednoduchost, nízká hmotnost, pořizovací náklady a malá zástavbová náročnost. I přes tyto výhody se trh zaměřuje především na první typ hlavic, a to na mechanické úchopné hlavice s vloženým transformačním blokem. ^{[2];[3];[6]}

3.4 Robotické vidění – navigace robotu

Pokud chceme manipulovat s různými typy a tvary předmětů pohybujících se kontinuálně po pásu, vždy je nutné robotické pracoviště doplnit o kamerový systém (robotické vidění) a umožnit tak robotům dokonalé uchycení správného předmětu a provést s ním námi požadovaný úkon. Jak vyplývá z popisu technologie Duploflex, robotické vidění bude nedílnou součástí nutnou pro splnění zadaných požadavků.

Robotické vidění ve své podstatě pracuje velmi podobně jako lidské oko. Stejně jako lidské oko, tak i kamera zachytí zkoumaný předmět a řídicí systém (mozek) ho dle určeného algoritmu vyhodnotí a na základě vyhodnocených informací provede

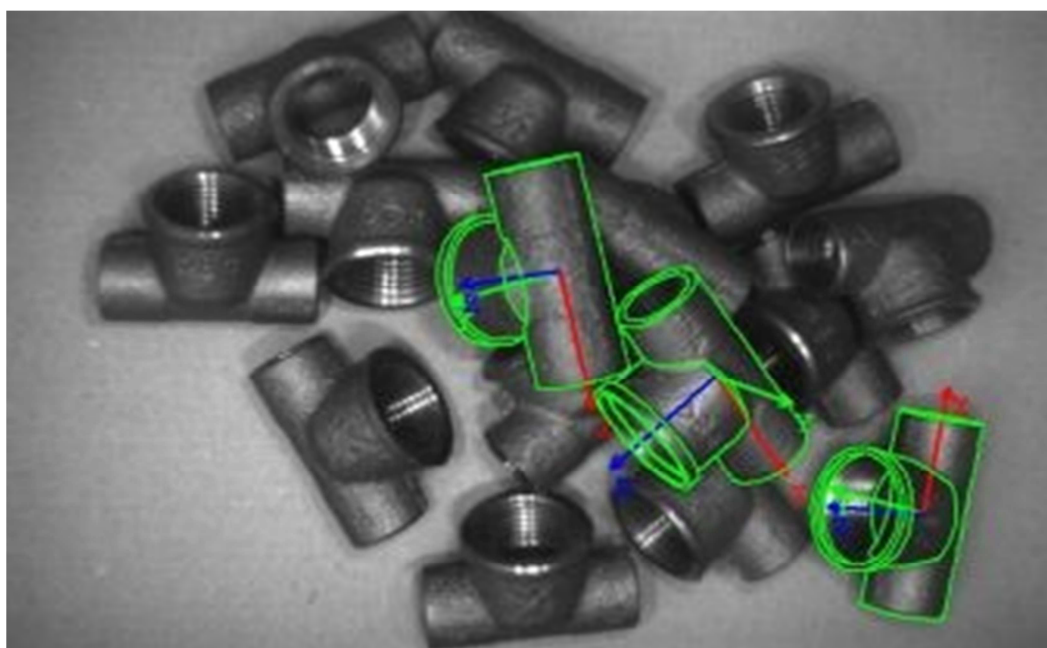
zadaný úkol. Zkoumaný předmět, povětšinou trojrozměrný, je osvětlen zdrojem světla, které je odraženo tak, aby na snímací kameře vytvořilo dvourozměrný Obraz. V tomto Obraze by měly být zachyceny všechny potřebné informace, pokud tomu tak není, je použito více kamer, které tyto informace spolehlivě zachytí. Signál z kamer je převeden na vhodnou měronosnou jednotku. Ta je poté řídicím systémem vyhodnocena tak, aby byla získána požadovaná informace o snímaném předmětu.^[11]

3.4.1 Metody snímání předmětu

Pro většinu průmyslových aplikací s robotickým viděním se velmi často využívá dvou následujících principů pro získání základních informací o předmětu:

1. Porovnávací princip

Tento princip se využívá u jednodušších aplikací, kde je zapotřebí zjistit pouze polohu a natočení (orientaci) předmětu v prostoru. Další informace, jako je velikost a typ předmětu, jsou řídicímu systému předem známé. Ve většině případů nejsou zapotřebí složité kamerové systémy a v mnoha případech si aplikace vystačí pouze s jednou kamerou. Na Obr. 3.6 je uveden příklad použití metody porovnávání s využitím detekce hran na vodovodním šroubení tvaru T. Systém rozpozná tvar šroubení, detekuje hrany jednotlivých dílů. Poté určí orientaci šroubení v prostoru a pošle robotu signál, který díl je vhodně orientován pro uchopení a manipulaci.



Obr. 3.6 Příklad využití porovnávacího principu s vyznačením orientace a polohy šroubení s využitím detekce hran^[8]

Pokud je nutné znát i hloubku předmětu, je zapotřebí využít následujícího principu.

2. Princip rekonstrukce 3D modelu

Problémem většiny kamerových systémů je, že tato zařízení transformují 3D předmět na 2D Obraz a tím se přichází o důležitou „hloubku“, tedy třetí souřadnici předmětu, a to o z – osu. Proto je potřeba získat vedle 2D Obrazu nějakou další doplňující informaci. K tomu slouží optické metody založené na třech základních principech^[10] :

- *Princip triangulace*
- *Princip optické interferometrie*
- *Princip měření doby letu modulovaného světla*

3.4.2 Triangulace

Triangulace je v současnosti jedním z nejpoužívanějších principů při optickém měření v technických aplikacích. U triangulace se rozlišují tyto nejdůležitější techniky^[10]:

- *Aktivní triangulace*
- *Pasivní triangulace*
- *Měřicí systémy s teodolitem*
- *Fokusovací techniky*
- *Techniky založené na podobě ze stínování*

V běžné technické praxi se využívá především aktivní a pasivní triangulace.

1) Aktivní triangulace

Tato technika spočívá ve fotogrammetrické rekonstrukci předmětu, který je snímán, nasvícením jeho povrchu pomocí laseru a současným snímáním kamerou. Ze známého umístění laseru a kamery lze pomocí triangulace získat potřebné informace o hloubce předmětu v místě, kde je jeho povrch nasvícen. Dle stupně nasvícení rozeznáváme tři typy aktivní triangulace^[10]:

- *1D triangulace* - laserový paprsek
- *2D triangulace* - laserový pruh
- *3D triangulace* - laserová síť

2) Pasivní triangulace

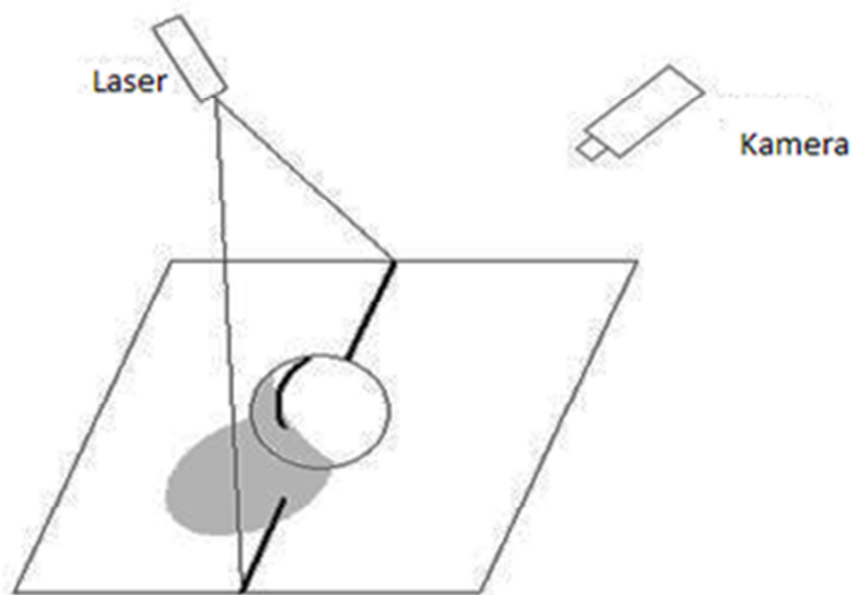
Pasivní triangulace ve své podstatě zahrnuje různé formy fotogrammetrie. Pasivita spočívá v tom, že není vyžadováno přesné uspořádání osvětlení, pak se používá této metody pro získání přesné požadované informace o předmětu. Používají se tyto základní metody:

- *Více kamer se známou orientací*
- *Více kamer se samokalibrační schopností*
- *Jedna kamera v různých polohách se samokalibrační schopností*

U rychlých, dynamických výrobních systémů se využívá více kamer se známou polohou v prostoru, nebo kamer se samokalibrační schopností. Pro pomalu běžné nebo statické systémy je nejběžněji použita jedna kamera s možností změny polohy a snímkování z více poloh s možností samokalibrace.

U samokalibračních kamer není nutné dopředu znát jejich polohu, ta je určena přímo ze snímků. Určit lze relativní poloha kamer (kamery) vzhledem ke snímanému předmětu nebo vzájemná poloha kamer vůči sobě. Pro tyto způsoby kalibrování se do snímaného prostoru vloží kalibrační předmět známého tvaru a rozměrů. Tento předmět je poté snímkován z různých kamer a poloh, ze změny natočení a měřítka na jednotlivých snímcích jsou určeny veškeré potřebné údaje pro budoucí správné snímkování.^[10]

Použití triangulačních metod sebou bohužel nese problém v tom, že v závislosti na členitosti snímaných předmětů mohou vznikat pro kameru slepá neboli stinná místa (Obr. 3.7). O těchto místech nemá systém žádné informace, proto při nutnosti rozpoznávání různých předmětů s malými odlišnostmi, musíme důsledně dbát na správné umístění kamer. Tím předcházíme vzniku stinných míst a problémům s identifikací předmětu.^[10]

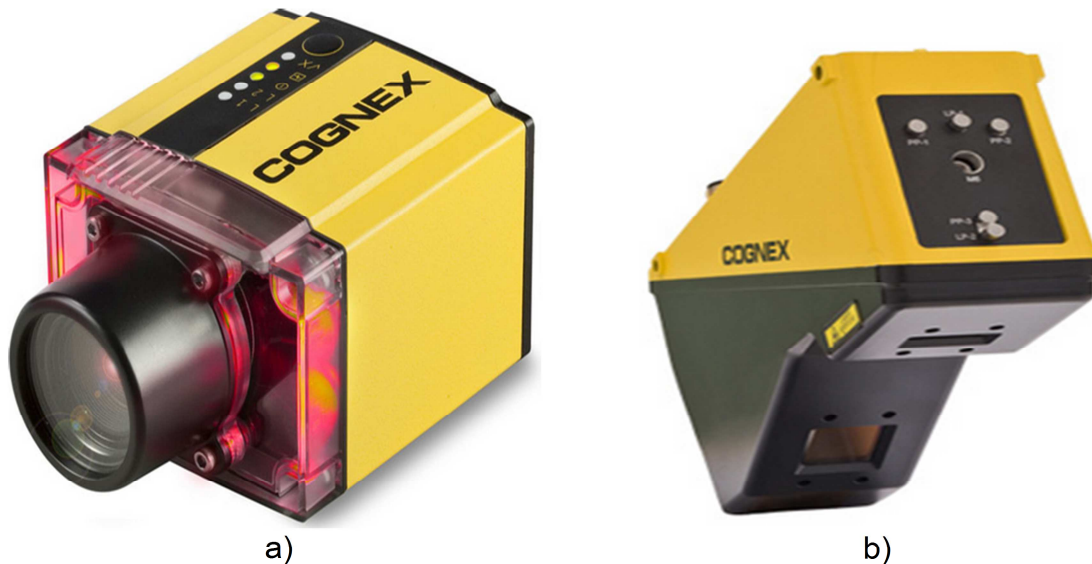


Obr. 3.7 Vznik stinných míst u 2D triangulace^[10]

V současnosti na trhu působí mnoho společností zabývajících se problematikou robotického vidění, s tím související automatické (optické) měření, navádění, detekování vad či komplexní kontrola výroby. V jejich nabídce jsou také produkty jako chytré (smart) kamery. Mezi tuzemské zastupitele patří například DATASCAN používající kamery DATALOGIC (Obr. 3.8) a zahraniční COGNEX (Obr. 3.9a) či SICK. Mezi zajímavé produkty společnosti COGNEX patří model kamer DS1000 (Obr. 3.9b) s integrovaným laserem v jeden kompaktní celek pracující na principu aktivní triangulace.^[2]



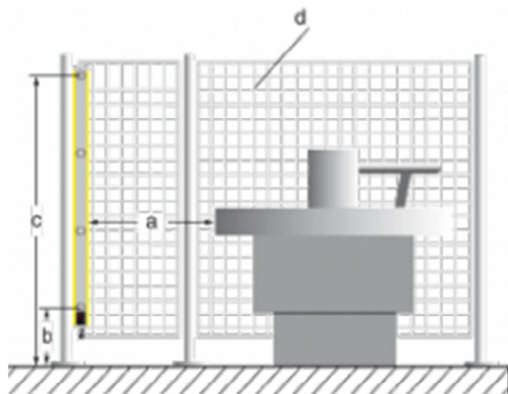
Obr. 3.8 Ukázka kamerové techniky firmy DATALOGIC^[12]



Obr. 3.9 Vlevo příklad kamery pro všeobecné průmyslové použití, vpravo kamera DS1000 obě značky COGNEX^[13]

3.5 Bezpečnost na pracovišti

Bezpečnost práce na strojních pracovištích, robotických nevyjímaje, je v dnešní době jednou z nejdůležitějších součástí celé technologie. Její zanedbání může mít a také mívá destruktivní účinky jak na strojních součástech, tak i na lidském zdraví, což je nepřijatelné. Moderní RTP si nelze ani představit bez bezpečnostních optických závor, světelných závěsů a bezpečnostního oplocení, které je základním předpokladem pro zamezení přístupu do nebezpečných prostor pracoviště. Jde tedy o sadu zabezpečení, která má za úkol zamezit kolizi stroje během jeho chodu s lidskou obsluhou. I když dnešní trend se ubírá směrem k asistenčním robotům, které mají schopnost spolehlivě spolupracovat v prostředí s lidskou obsluhou a nijak ji neohrožovat. Avšak u průmyslových robotů, které tuto funkci nemají, je třeba zajistit bezpečnost na pracovišti.



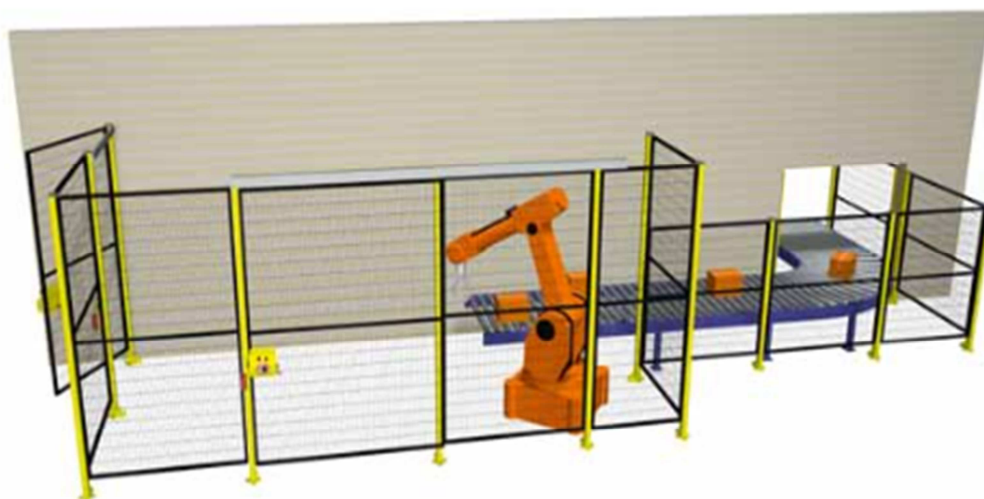
Obr. 3.10 Vzdálenosti bezpečnostních prvků od pracovního prostoru^[15]

Velikost a umístění bezpečnostních prvků se řídí normou ČSN EN ISO 13857 s názvem „Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami“. Norma určuje minimální vzdálenosti bezpečnostních prvků od pohyblivých částí stroje. Obsahuje rozměry pro definování požadované výšky „c“ a „b“

v závislosti na vzdálenosti „a“ bezpečnostních pevných prvků / optických závor od člověku nebezpečného prostoru „d“ – viz *Obr. 3.10*.

1) Bezpečnostní oplocení

Bezpečnostní oplocení se ve většině případů skládá z modulárních plotů (pevných částí) a dveří. Ty jsou jednoduchým způsobem spojeny v jeden celek, jako tomu je na *Obr. 3.11*.



Obr. 3.11 Modulární systém bezpečnostního oplocení fi TROAX^[14]

Nedílnou součástí každého takového modulárního systému jsou bezpečnostní dveřní systémy (*Obr. 3.12*), které zamezí vstupu do nebezpečného prostoru při chodu pracoviště a nedovolí samovolné uzamčení, pokud se obsluha uvnitř jeho prostoru nachází. Každý takovýto bezpečnostní zámek má také ze strany vnitřního prostoru pracoviště tlačítko totál stop, které zajistí okamžité zastavení v případě, že by se dveře omylem uzamkly, spustil se pracovní cyklus, ale obsluha se nacházela uvnitř pracovního prostoru.

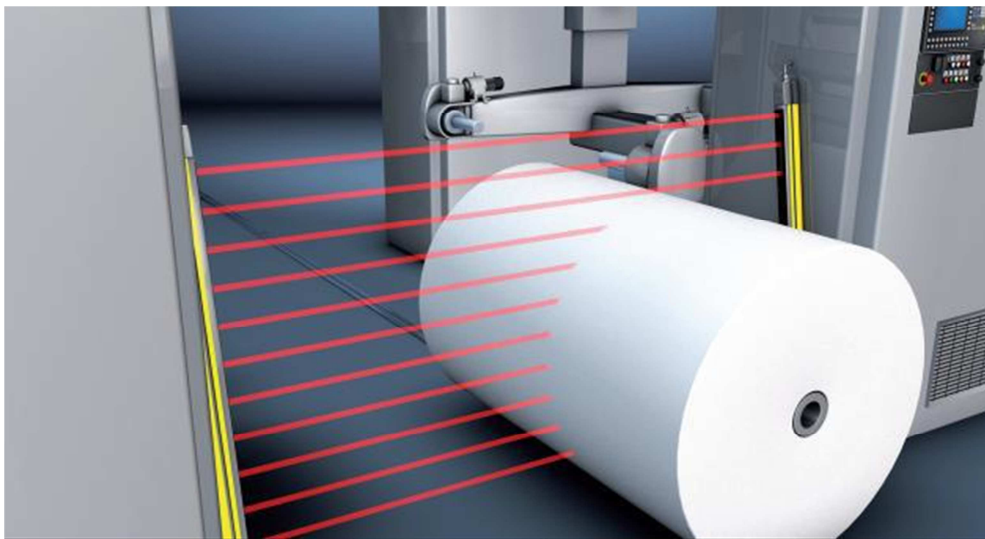


Obr. 3.12 Bezpečnostní dveřní systém^[14]

2) Bezpečnostní optické závory

Bezpečnostní optické závory jsou optoelektronická ochranná zařízení, která jsou tvořena vysílačem a přijímačem světelných paprsků nebo vysílačem, resp. přijímačem integrovaným v jeden celek doplněným soustavou zrcadel. Pokud se světelný paprsek přeruší, přijímač vygeneruje signál pro zastavení nebezpečného pohybu.^[16]

Jako bezpečnostní optoelektronická zařízení se nejčastěji využívají vícepaprskové optické závory. Funkce těchto závor je vytvářet plošnou detekci přítomnosti obsluhy nebo libovolného pevného předmětu v nebezpečném prostoru. Detekce je prováděna pomocí soustavy, nejčastěji vodorovných, rovnoběžných paprsků mezi výše uvedeným vysílačem a přijímačem ve formě dlouhých štíhlých sloupků. Na *Obr. 3.13* je ukázka použití takovýchto závor při detekci vkládání velké role balicího papíru do balicí linky.



Obr. 3.13 Použití vodorovných vícepaprskových optických závor v balicí lince^[15]

Dále se tyto závory používají všude tam, kde je nutný zásah obsluhy do automatického pracoviště. Při přerušení světelných paprsků se pracovní cyklus pozastaví, obsluha provede nutný zásah do pracoviště a po obnovení přerušených paprsků se cyklus znovu uvede v činnost. Tento postup se například používá při nutnosti kontroly dílců, které prošly předchozí automatickou linkou, jak je zobrazeno na *Obr. 3.14*. Tyto dílce jsou náhodně vybrány proškolenou obsluhou a ručně vkládány do kontrolního zařízení.^[15]



Obr. 3.14 Ukázka použití optických závor při nutnosti vstupu obsluhy do pracovního prostoru^[15]

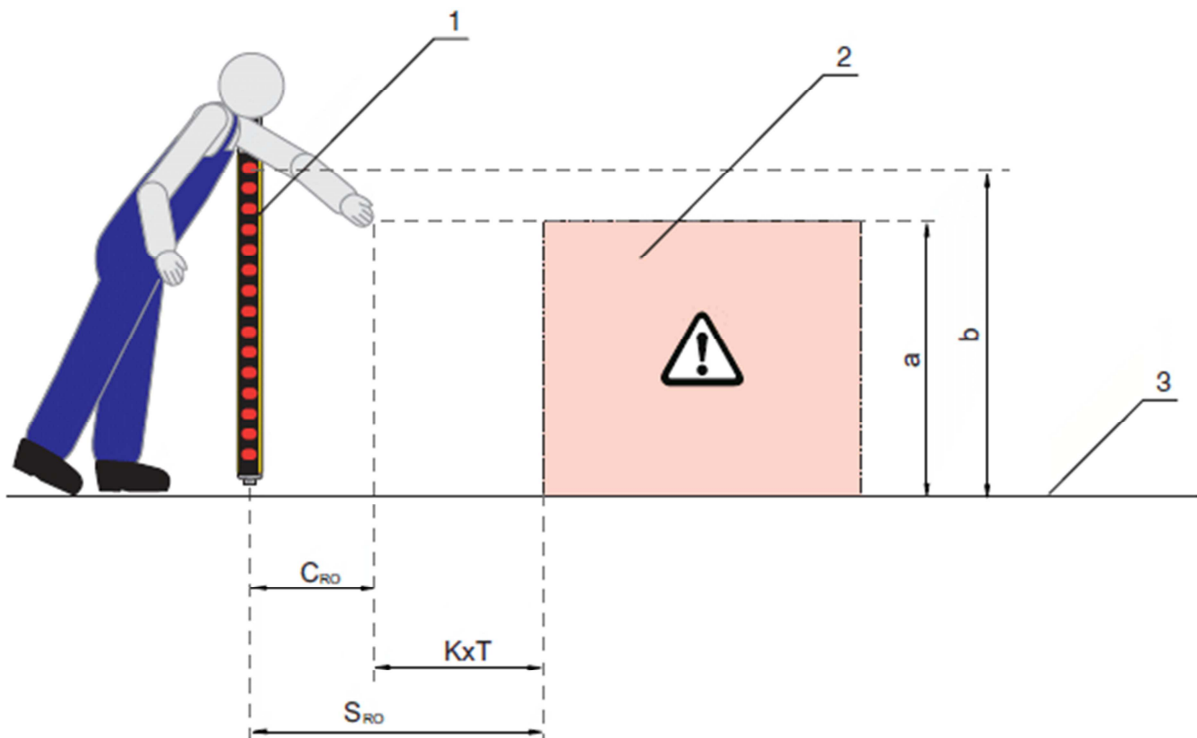
Optické závor musí být umístěny tak, aby při přerušení paprsků nemohlo v žádném případě dojít ke styku člověka s pohyblivou částí stroje. Tuto funkci mohou světelné závor plnit pouze v případě, že je dodržena bezpečná vzdálenost od nejbližšího nebezpečného místa na chráněném zařízení, které může poranit jakoukoliv osobu, nejen obsluhu stroje. Tato vzdálenost musí být tak velká, aby byl nebezpečný pohyb stroje zastaven dříve, nežli se může některá lidská část dostat do nebezpečného prostoru stroje. Tato minimální vzdálenost je dána normou, ale lze spočítat dle standardizovaných vzorců dle normy ČSN EN ISO 13855: „Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla“. Pro předběžné určení vzdálenosti (Obr. 3.15) optoelektrických závor od provozního zařízení se používá vztah dle uvedené normy.^[15]

Základní výpočet bezpečné vzdálenosti:

$$S = (K \times T) + C \quad (3.1)$$

Kde:

- | | | |
|----------|---|---|
| <i>S</i> | - | <i>minimální bezpečná vzdálenost</i> |
| <i>K</i> | - | <i>přístupová rychlost lidského těla (1600 – 2000 mm/s)</i> |
| <i>T</i> | - | <i>čas zastavení celého systému</i> |
| <i>C</i> | - | <i>dodatečná vzdálenost dána rozlišením optoelektrických zařízení</i> |



Obr. 3.15 Minimální bezpečná vzdálenost S dle normy ČSN EN ISO 13855^[15]

Kde:

- a - výška pracovního bodu
- b - výška ochranných zařízení
- 1 - bezpečnostní zařízení
- 2 - nebezpečná zóna
- 3 - podlaha

Podle normy ČSN EN ISO 13855 je však k výše uvedenému vztahu doplněno mnoho výjimek a doplňků dle daného provozního režimu, pozice umístění, snímací schopnosti ochran atd. Déle je nutné zohledňovat předpokládaný směr pohybu lidské obsluhy, možnost přístupu nad nebo pod ochranou či možnost překročení detekce při jejím vodorovném postavení.

3) Bezpečnostní relé

Pro spolehlivou a bezpečnou funkci výše popsaných optických závor je nutné zpracovávat signály, které závory vysílají. Tuto funkci, ve většině případů, řeší tzv. bezpečnostní relé. Každé bezpečnostní relé použité ve výrobních systémech v zemích Evropské unie by mělo splňovat normu EN 945-1, která udává následující požadavky na bezpečnostní obvody.^[9]

- *Odolnost proti jednotlivým poruchám a sekvenčním poruchám v řídicím obvodu (tolerance jedné poruchy).*
- *Musí zabránit automatickému rozběhu stroje v případě resetu nouzového tlačítka.*
- *Nastavení redundantního obvodu minimálně dvěma relé stykače.*
- *Vytvoření diverzity, např. kombinací rozpínacích a spínacích kontaktů pomocných stykačů.*
- *Cyklické monitorování bezpečnostního obvodu pomocí každého zapínacího/vypínacího (ON-OFF) cyklu.*

Tyto přístroje bezpečně zpracovávají různé signály z optických závor, polohových spínačů, tlačítek nouzového zastavení apod. a na základě žádané funkce tyto signály vyhodnocují. Na Obr. 3.16 je ukázka řady bezpečnostních relé společnosti ABB, které se používají pro následující aplikace:^[9]

- *Obvody nouzového zastavení (EMERGENCY STOP)*
- *Bezpečnostní monitorování vstupů*
- *Ovládání oběma rukama*
- *Bezpečnostní nášlapné rohože*



Obr. 3.16 Bezpečnostní relé ABB^[9]

Pro složitější bezpečnostní obvody lze tato relé spojovat do modulárních celků a používat je jako jedno zařízení. Pokud by bezpečnostní relé pro zadané úkoly nesplňovala výše uvedenou normu EN 945-1, je nutné použít bezpečnostních PLC systémů neboli tzv. programovatelných bezpečnostních kontrolerů (Obr. 3.17). Tyto PLC systémy dokáží uživatele informovat o rychlosti a zrychlení pohyblivých os,

četnosti poruch systému či četnosti přerušení pracovního cyklu obsluhou atd. Změna jejich programu, na rozdíl od bezpečnostních relé, je uživatelsky přívětivá, rychlá a lze ji provádět přímo na pracovišti.



Obr. 3.17 Programovatelný bezpečnostní kontroler ABB^[9]

4 Rozbor stávajícího pracoviště

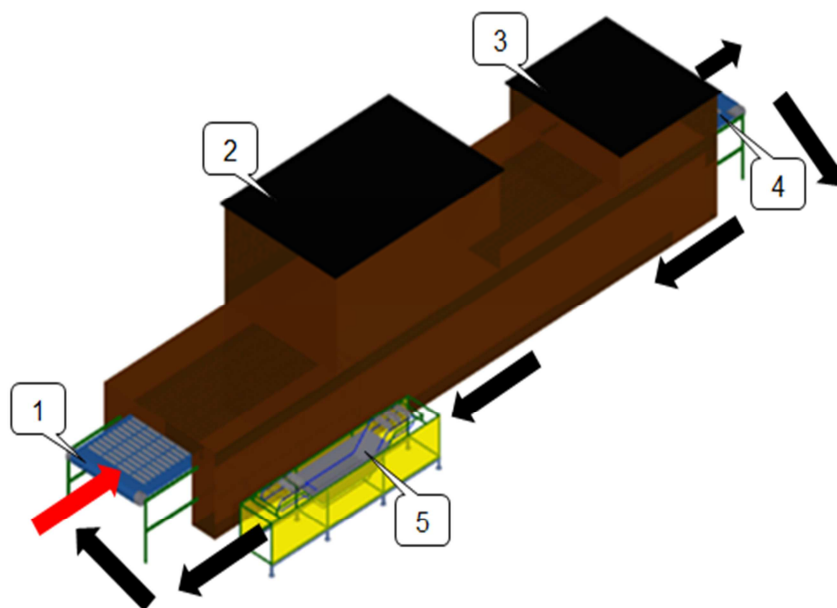
Tato kapitola se především zabývá jednotlivými kroky při postupu návrhu robotického technologického pracoviště v již existující odmašťovací, resp. sušící lince a vyzdvihuje body ovlivňující podobu konečného návrhu pro robotické technologické pracoviště sloužící k překládání sběrných trubek. Jelikož se jedná o reálnou zakázku a zákazník vyžadoval podepsání dohody o mlčenlivosti, jsou veškeré modely linky velmi zjednodušené (bez přesných detailů) tak, aby nebyla dohoda porušena.

4.1 Specifikace linky DipFluxer

Při návrhu robotického pracoviště bylo nejprve nutné se seznámit se stávajícím pracovištěm, které se nachází ve výrobní hale pro zpracování hliníkových plechů, ze kterých vyrábí výměníky tepla pro chladicí zařízení do automobilového průmyslu. Jedná se o kompletní výrobu přední části výměníku tepla chladiče osobních a nákladních automobilů.

4.1.1 Současný stav linky

V současné době funguje linka (Obr. 4.18) jako jedno pracoviště, které je obsluhováno šesti operátory. Dva na vstupu, dva na výstupu linky (poz. 1 + poz. 4) a dva pracovníci obsluhující vanu pro ponorné fluxování fluoridem hlinito-draselným [KAIF₄] smíchaným s destilovanou vodou (poz. 5).

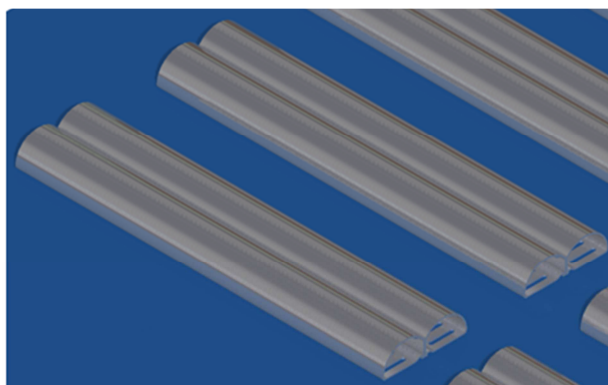


Obr. 4.18 Současný stav linky DipFluxer – zjednodušený model

Legenda:

- 1) Vstupní část dopravníku – nakládací stůl
- 2) Odmašťovací/sušící pec
- 3) Ochlazovací část linky
- 4) Výstupní část dopravníku – vykládací stůl
- 5) Vana pro ponorné fluxování

Současná linka je řešena tak, že operátor vyjme sběrné trubky z připravených přepravních boxů a pokládá je na nakládací stůl tak, aby byly sběrné trubky orientovány tak, aby došlo k dokonalému odmaštění, jak je zobrazeno na *Obr. 4.19*. => rádius směrem nahoru.



Obr. 4.19 Orientace sběrných trubek na pásu dopravníku

Současně je dopravník řešen teflonovým pleteným pásem, který je napnutý mezi nakládacím a vykládacím stolem se směrem pohybu vyznačeným červenou šipkou. Dopravník je poháněn jedním servomotorem umístěným na boku vykládacího stolu. Jeho rychlost je řízena frekvenčním měničem a společně s vloženou převodovkou udává rychlost pásu na $v_p = 1 - 2,5$ m/min, dle typu trubek. Dopravníkový pás projíždí pecí, která je vytápěna na maximálně 250 °C, v této části dochází v první fázi k odmaštění sběrných trubek.

Po průchodu pecí se trubky v chladicí části linky ochladí na teplotu nepřesahující teplotu 50°C a dále jsou dopravovány na vykládací stůl. Zde jsou trubky z pásu ručně odebrány a vkládány do připravených přepravních boxů. Po naplnění jsou tyto boxy odtlačeny k vaně pro ponorné fluxování. Další operátor naskládá přivezené trubky (opět ručně) do unašečů dopravníku vany pro ponorné fluxování, po pěti kusech, jak je zobrazeno na *Obr. 4.20*. Po průchodu vanou jsou namočené trubky přeskládány z vany na volnou pravou polovinu teflonového dopravníku DipFluxeru.



Obr. 4.20 Skládání sběrných trubek do unášeců ponorné vany

Takto připravené trubky (namočené v lázni tvořené fluoridem hlinito-draselným $[KAIF_4]$ s destilovanou vodou) jsou v této fázi vysušeny v peci, resp. zde dojde k odpaření destilované vody a vytvrzení fluoridu hlinito-draselného, který slouží jako kalafuna při dalším zpracování sběrných trubek. Takto zpracované trubky jsou z vykládacího stolu expedovány do skladu a poté k dalšímu zpracování.

Z popisu současného stavu je patrné, že pro automatizaci bude vhodné linku přestavět tak, aby její jednotlivé fáze na sebe navazovaly, eliminovaly se nadbytečné přesuny materiálu mezi jednotlivé části linky, zajistila se tak plynulost cyklu a odstranila monotónní lidská práce

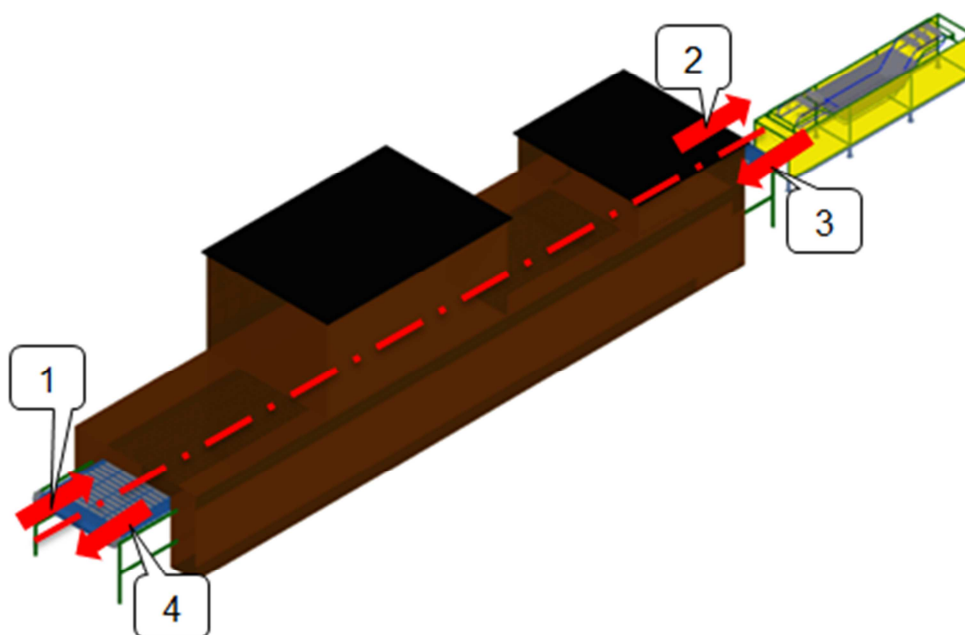
4.1.2 Požadovaný stav linky

Pro umožnění požadovaného stádia a efektivity automatizace bude nutné nejprve současnou linku upravit. Jedna z nejdůležitějších úprav na lince je výměna teflonového pásu za dva protiběžné unášecí článkové řetězy z nerezové oceli (Obr. 4.21). Na těchto řetězech budou instalovány nosné přípravky, do kterých budou jednotlivě zakládány a vykládány zpracovávané sběrné trubky. Konstrukce těchto přípravků musí zohledňovat různé rozměry sběrných trubek. Jejich orientace bude stejná jako na Obr. 4.20.



Obr. 4.21 Unášecí článkový řetěz CONTRA^[17]

Tato úprava vyžaduje výrobu nového nakládacího a vykládacího stolu s oddělením os vodících válců. Pro zpětný směr článkového dopravníku je nutné připojit nový motor s převodovkou a připojit jej do řídicího systému. Se zavedením unášecích řetězů, je nutné doplnit vnitřek sušící linky o jejich vedení a napínání. Tyto úpravy mají za úkol zkrácení transportních časů mezi jednotlivými pracovišti a usnadnění práce operátorů před samotným zavedením robotů na pracoviště. Prvotní požadované úpravy ilustruje Obr. 4.22.



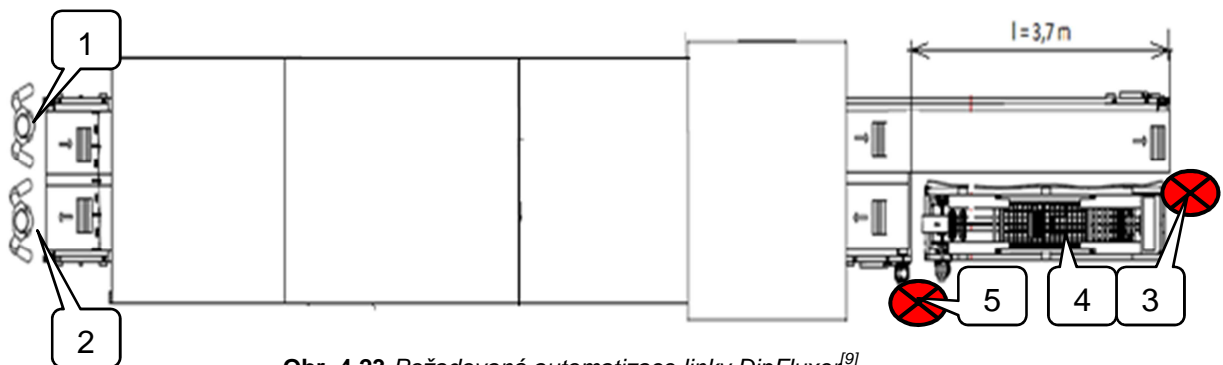
Obr. 4.22 Prvotní návrh úprav linky DipFluxer

Legenda:

- 1) Nakládací stůl – odmašťovací část linky
- 2) Vykládací stůl – překládání do fluxovací vany
- 3) Nakládací stůl – překládání z fluxovací vany do sušící část linky.
- 4) Vykládací stůl – vkládání do přepravních boxů převoz k dalšímu zpracování

Pro nahrazení lidské obsluhy na překládacích stanicích 2 a 3 roboty je linku zapotřebí dále upravit. Jak zobrazuje Obr. 4.23 – vstupní pás do odmašťovací sekce linky bude prodloužen o délku „ $l = 3,7 \text{ m}$ “, přesahující vnější rozměr vany pro ponorné fluxování.

Na konci této části prodlouženého dopravníku (Obr. 4.23) bude první robot (poz.3). Jeho úkolem je odebrat z přípravku umístěného na řetězu postupně pět sběrných trubek a rovnat je do unašečů fluxovací vany (viz: Obr. 4.20). Po průchodu vanou (poz.4) bude připraven další robot (poz.5), který namočené trubky vezme (všech pět kusů) a uloží je do přípravků na pravém pásu, na kterém dochází k odpaření destilované vody a vytvrzení fluoridu hlinito-draselného. Tak připravené součásti operátor vezme (poz.2) a uloží do boxů pro zpracování.



Obr. 4.23 Požadovaná automatizace linky DipFluxer^[9]

Legenda:

- 1) Nakládací stůl – lidská obsluha
- 2) Vykládací stůl – lidská obsluha
- 3) Překládací robot – odmašťování => ponorná vana
- 4) Ponorná vana fluxování
- 5) Překládací robot – ponorná vana => sušení

Důvodem pro zachování lidské obsluhy na vstupu a výstupu z linky jsou čistě kontrolní důvody. Operátor na vstupu (poz.1) kontroluje, zda jsou jemu dodané trubky kvalitně vylisované či spájené a případné zmetky vyřadí. Operátor na výstupu (poz.2) kontroluje, zda jsou trubky na konci linky dostatečně vysušeny a fluorid hlinito-draselný v dostatečné vrstvě vytvrzen.

Veškeré výše uvedené úpravy na samotné lince DipFluxeru budou po vzájemné dohodě provedeny zadávající společností a nebudou tak součástí této práce a společnost ABB zajistí pouze dvě překládací robotická pracoviště.

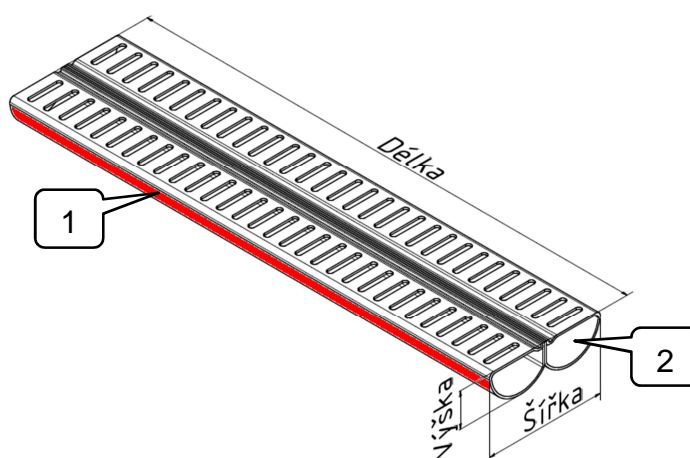
4.1.3 Specifikace překládaných sběrných trubek

Na navrhovaném robotickém pracovišti by měly být překládány sběrné trubky (Obr. 4.19) z jedné části linky do další, jak je popsáno výše. Sběrné trubky jsou do požadovaných tvarů a rozměrů (Tab. 4.1) lisovány z duralových plechů. Po vylisování jsou trubky skládány do přepravních boxů a převezeny na zpracování na lince DipFluxer.

Délka	[mm]	165 – 320
Šířka	[mm]	44 – 70
Výška	[mm]	18
Hmotnost	[g]	100 – 320

Tab. 4.1 Rozsah rozměrových a hmotnostních parametrů sběrných trubek

Některé druhy trubek mají po své délce různé tvary vstupních, resp. výstupních hrdel pro vstup, resp. výstup chladicí kapaliny (Obr. 4.24 – poz.1), dále se objevují varianty s plnými čely (poz.2).



Obr. 4.24 Příklad jedné z variant sběrných trubek

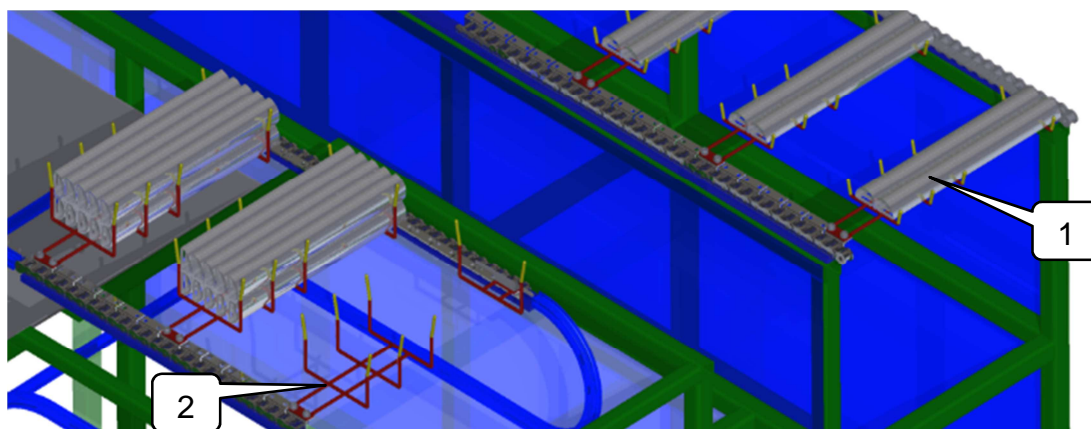
Legenda:

- 1) Umístění hrdel pro vstup/výstup chladicí kapaliny
- 2) Možné umístění plných čel

4.1.4 Vstup a výstup jednotlivých pracovišť

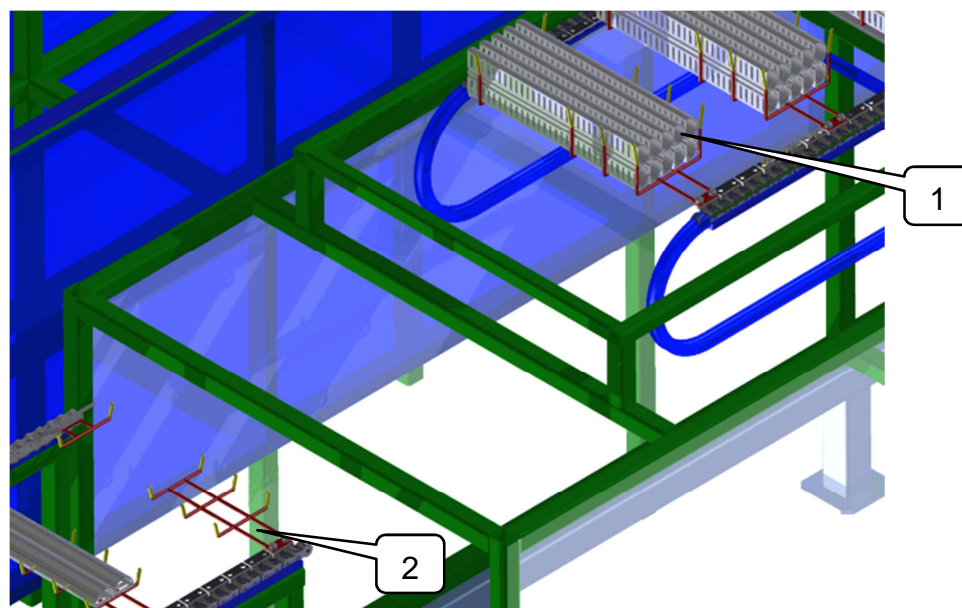
Zákazníkem je požadováno, aby jednotlivá robotická pracoviště byla schopna spolupracovat se sušící linkou DipFluxer a ponornou vanou pro fluxování. K prvnímu robotickému pracovišti (Obr. 4.23 poz.3) jsou dopravovány sběrné trubky po výše zmíněném řetězovém dopravníku, na tomto dopravníku jsou přípravky

(Obr. 4.25 poz.1) pro uložení trubek při průchodu linkou. Z tohoto přípravku je nutné trubku odebrat a přemístit ji do přípravku na řetězovém dopravníku v ponorné vaně (Obr. 4.25 poz.2).



Obr. 4.25 Výstup z odmaštění (1) – transport – vstup do ponorné vany (2)

Po průchodu ponornou vanou jsou trubky vyjmuty z přípravku (Obr. 4.26 poz.1) a postupně kladeny do prázdných přípravků (Obr. 4.26 poz.2) zpětného dopravníku linky DipFluxeru.



Obr. 4.26 Výstup z ponorné vany (1) – transport – vstup do linky pro sušení (2)

Z Obr. 4.25 a Obr. 4.26 je patrné, že přípravky na řetězových dopravnících linky jsou koncipovány pro uložení jedné trubky, zatímco přípravky na dopravníku ponorné vany jsou konstruovány pro pět trubek. Takováto koncepce přípravků pro uložení trubek je požadována zákazníkem, a to z technologických důvodů jednotlivých částí linky.

4.1.5 Všeobecné funkční požadavky

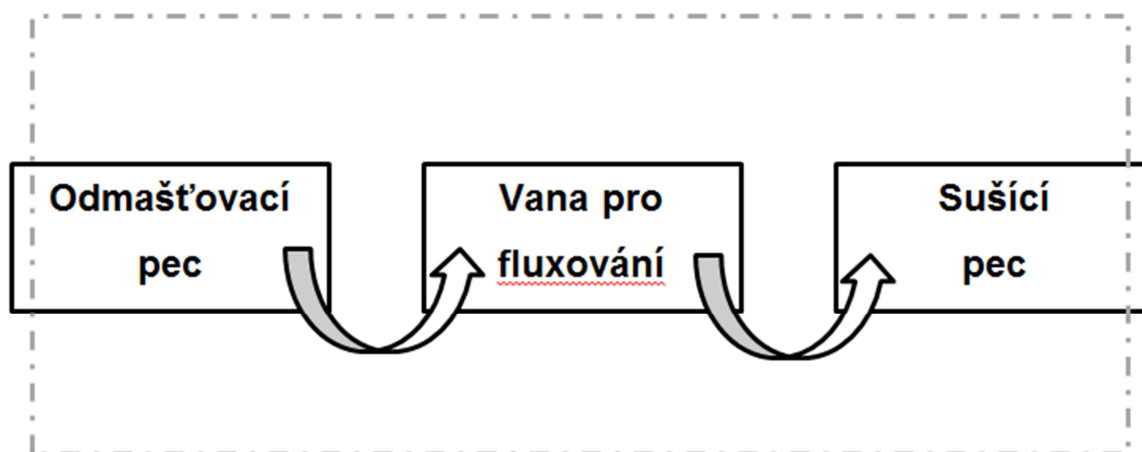
Jelikož je společnost ABB s.r.o. zadavatelem této diplomové práce, budou ve stavbě překládacích pracovišť využity, v maximální možné míře, roboty a komponenty této společnosti.

S přihlédnutím k povaze zadaného problému byly zákazníkem stanoveny tyto základní vlastnosti robotického pracoviště.:

- *Maximální jednoduchost – minimální poruchovost*
- *Vysoká produktivita práce – nejkratší čas cyklu na jednu trubku roven dvě sekundy*
- *Možnosti uchopení více variant trubek (nejlépe všech) jednou úchopnou hlavicí*
- *Minimální pořizovací náklady – rychlá návratnost investic*

5 Koncepční návrhy – vlastní řešení

Jednotlivé návrhy jsou navrženy s ohledem na výše uvedené požadavky, dle blokového schéma na *Obr. 5.27*. Jednotlivé bloky představují plynulý průchod linky a robotické překládání sběrných trubek je naznačeno šipkami.



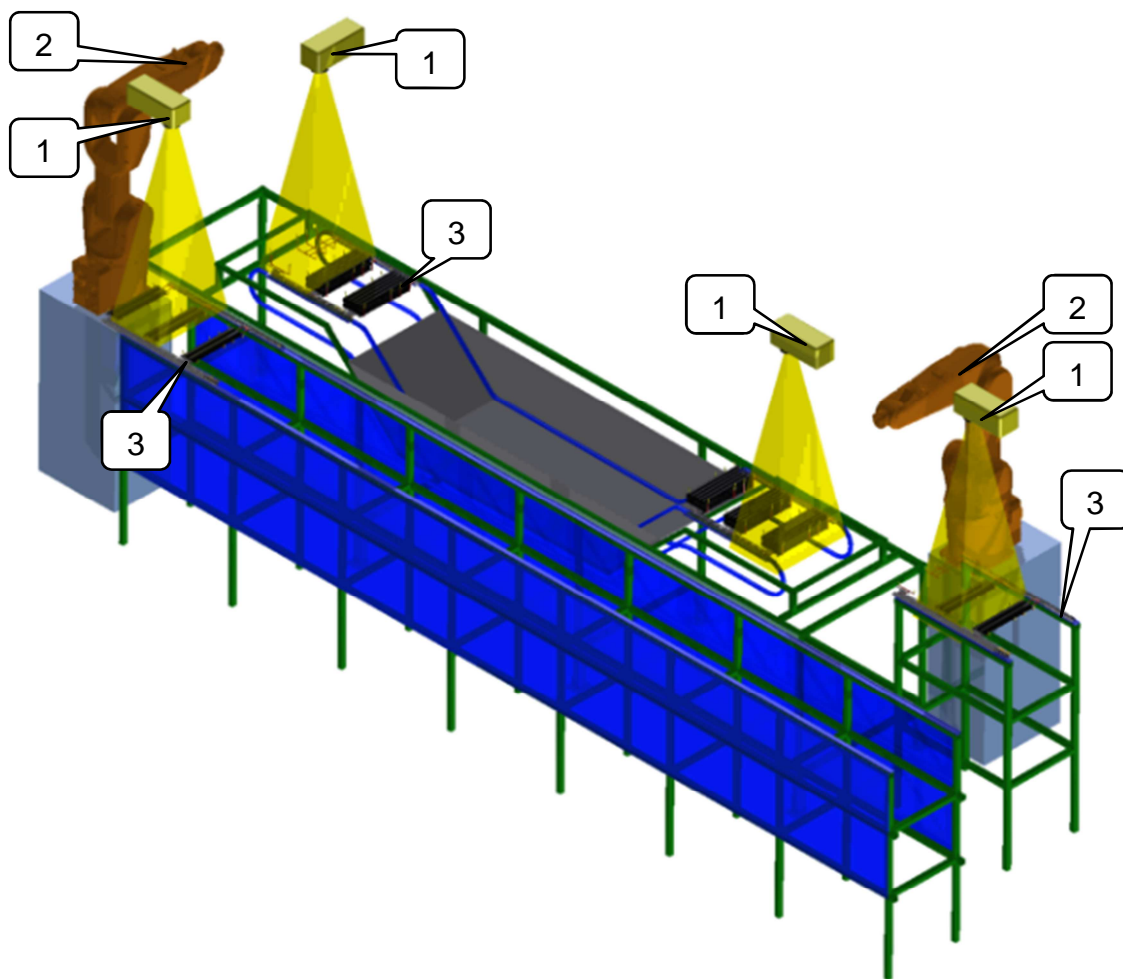
Obr. 5.27 Blokové schéma pracoviště

Návrh robotického pracoviště je především ovlivněn způsobem snímání pozic trubek, procházející jednotlivé části linky.

- Snímání poloh trubek kamerovým systémem
- Snímání poloh trubek pevnými snímači a kontrolní kamerou

1) Robotické pracoviště naváděné kamerovým systémem

Toto řešení robotického pracoviště je založeno na principech robotického vidění, které umožní navádění robotů k jednotlivým částem linky, bezpečné uchopení a transport trubek na požadované místo, tzn. že řídicí systém vypočítává dráhy k jednotlivým vstupům a výstupům na základě jejich polohy. Na *Obr. 5.28* je náhled na návrh rozmístění kamer (*poz.1*) pro snímání vstupů a výstupů pro předkládací roboty. Toto pracoviště se skládá kamerového systému (tento kamerový systém se nazývá *Line tracking*), který neustále monitoruje chod linky a informuje překládací roboty (*poz.2*) o poloze trubek, resp. prázdných přípravků na dopravních linky (*poz.3*).

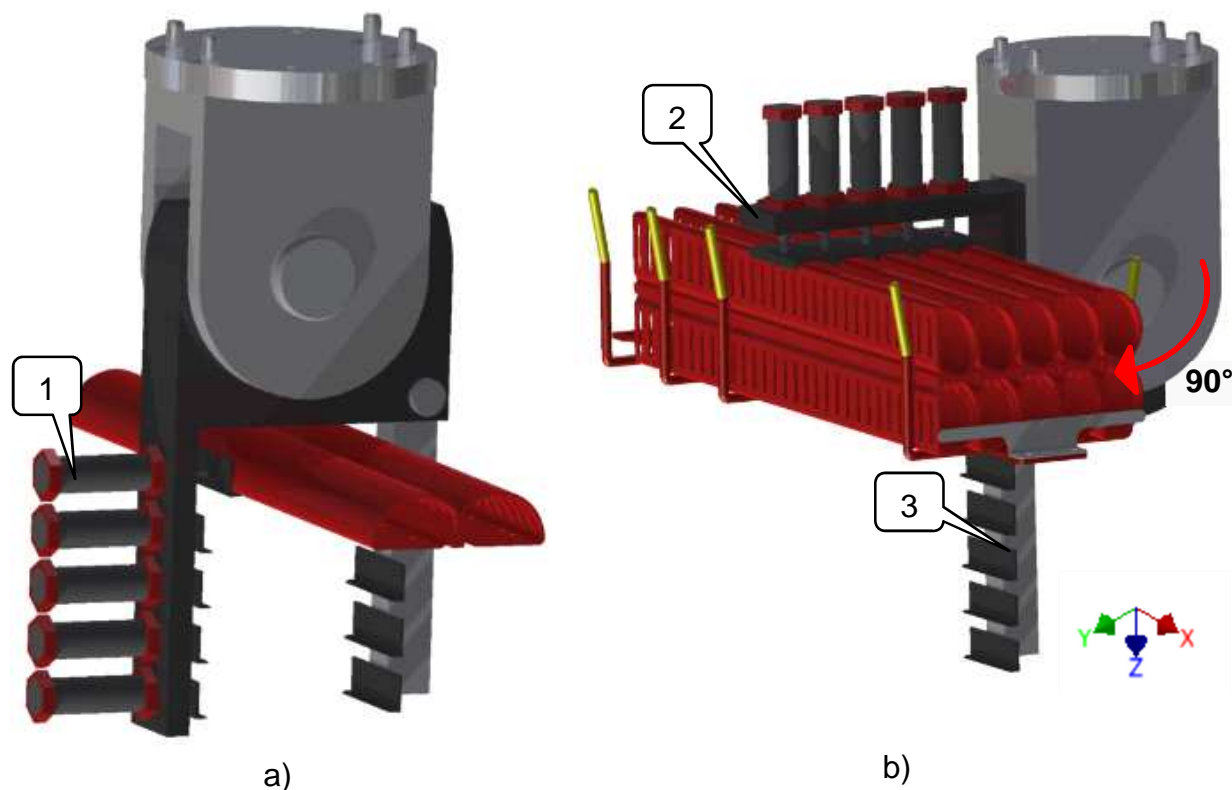


Obr. 5.28 Robotické pracoviště naváděné kamerovým systémem

Legenda:

- 1) Kamerový systém
- 2) Překládací roboty
- 3) Dopravníky linky DipFluxer

Pro takto koncipované pracoviště byla navržena multifunkční pracovní hlavice. Tato hlavice umožní postupné uchopení a zásobení pěti trubek pomocí miniaturních pneumotorů (Obr. 5.29a – poz.1) se zdvihem zajišťující uchopení všech typů trubek viz Tab. 4.1. Po uchopení pěti trubek, tzn. po naplnění zásobníku hlavice, se celá pevná čelist s pneumotory (Obr. 5.29b – poz.2) otočí o 90° kolem osy „x“ a trubky se umístí do přípravků ponorné vany. Naklopení pevné čelisti je nutné kvůli omezenému manipulačnímu prostoru v oblasti ponorné vany, robot umožňuje výkyv celé hlavice, ale z důvodu nedostatku prostoru není toto řešení vhodné. Poté se vykllopí otočná čelist (poz.3) a pneumotory se zasunou, při této konfiguraci může hlavice bezpečně opustit pracovní prostor (pohyb ve směru osy „z“) ponorné vany a cyklus opakovat.



Obr. 5.29 Návrh multifunkční hlavičky

Legenda:

- 1) Pneumotor – zdvih_{min.} = 30mm
- 2) Pevná čelist
- 3) Otočná čelist

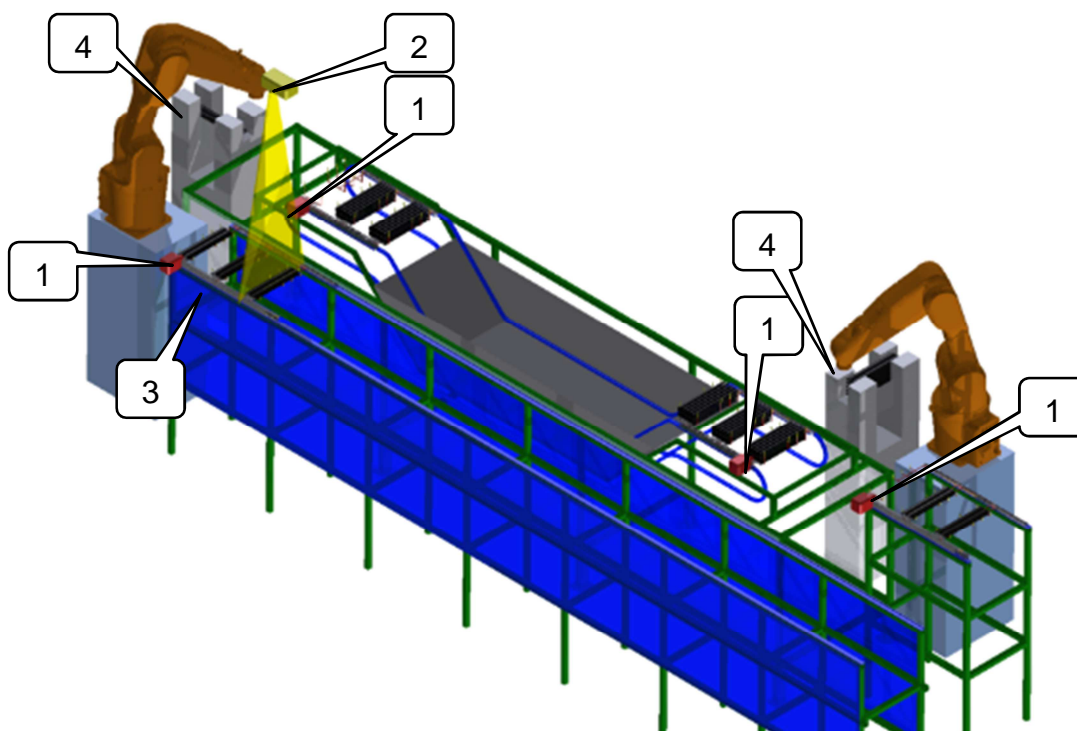
Významnou výhodou toho řešení by měla být dokonalá informovanost systému o polohách trubek připravených k přeložení na další zpracování, resp. o polohách prázdných přípravků pro vložení trubky. Úchopná hlavička pro toto řešení umožní plynulý chod materiálu pracovištěm bez nutnosti plnění vedlejších zásobníků.

Kamerový systém zajišťuje zdánlivou spolehlivost robotického pracoviště, avšak sběrné trubky jsou vyrobeny z leštěného hliníku, který má vysokou odrazivost a při osvětlení snímaných dílců by mohlo docházet k odleskům. Tyto odlesky mohou pro kameru vytvořit falešný obraz, proto by navigace robotu nebyla přesná. Další nežádoucí faktor pro spolehlivost kamer je prašnost prostředí, ve kterém se linka nachází. Navíc se v těsné blízkosti linky míchá florid hliníto-draselný s destilovanou vodou, což představuje vysokou prašnost. Prašné prostředí způsobuje na čočkách kamer jemný povlak částic, který zanedlouho znemožní správné snímání scény, což může také vést k nepřesnosti v navigaci robotu.

2) Robotické pracoviště s detekcí poloh trubek a přípravků pomocí pevných snímačů

Tato varianta řešení robotického pracoviště s pevnými snímači (Obr. 5.30) je s ohledem na řídicí systém o poznání jednodušší. Řídicí systém nemusí vypočítávat dráhy robotů k jednotlivým vstupům a výstupům. Dráhy jsou určeny pevně a takt uchopení, resp. uvolnění trubek v jednotlivých přípravcích udávají jednotlivé pevné snímače (poz.1). Snímače dávají systému informaci o poloze vstupů, resp. výstupů a roboty navigují tzv. ve správný čas na požadovanou pozici. Jelikož je vstup do celé linky DipFluxer obsluhován ručně lidskou obsluhou, proto je nutná detekce přítomnosti a správného umístění trubek v přípravcích. Tato detekce je prováděna kamerou (poz.2) na konci vstupního dopravníku odmašťovací části linky (poz.3). Ostatní části pracoviště mají polohu trubek přesně určenou roboty a není zde tedy nutnost kamerové kontroly.

Toto pracoviště je doplněno o externí zásobníky (poz.4) do, resp. ze kterých jsou postupně trubky odebírány, resp. vkládány. Zásobník u prvního robotického pracoviště by měl sloužit jako buffer, do kterého se trubky postupně ukládají a poté jsou najednou odebrány. U druhého je tomu naopak, tzn. že je vloženo pět trubek a ty jsou po jedné odebírány.

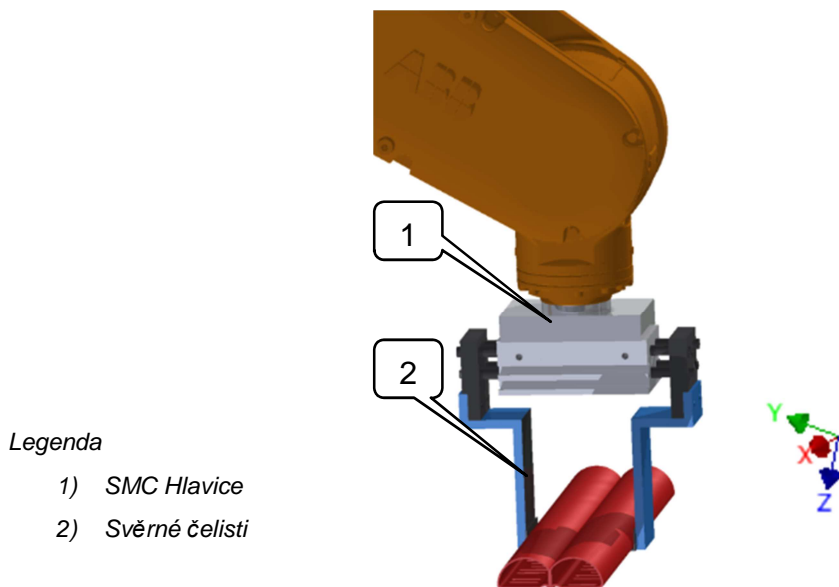


Obr. 5.30 Robotické pracoviště s pevnými drahami

Legenda

- 1) Systém pevných snímačů
- 2) Kamera detekce trubky
- 3) Konec odmašťovací části linky
- 4) Externí zásobník - buffer

Jelikož u tohoto řešení je snaha o vytvoření co nejjednodušší a nejlevnější varianty, byla zvolena sériově vyráběná úchopná hlavice (Obr. 5.31 – poz. 1) od firmy SMC. Tato hlavice je doplněna o svěrné čelisti (poz.2) umožňující uchopení trubek.

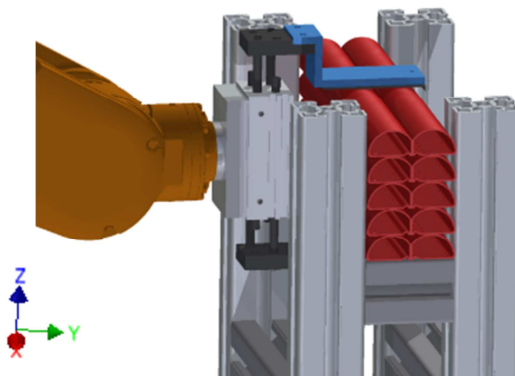


Legenda

- 1) SMC Hlavice
- 2) Svěrné čelisti

Obr. 5.31 Úchopná hlavice SMC

Jelikož je tento návrh doplněn o výše zmíněné externí zásobníky, nevzniká problém s nedostatkem místa v prostoru ponorné vany a není tedy nutné navrhovat výklopnou hlavici, jak je tomu případě multifunkční úchopné hlavice na Obr. 5.29. V prostoru zásobníků vzniká dostatek místa pro možnost naklopení (kolem osy „X“) celé koncové části robotu, jak je zobrazeno na Obr. 5.32.



Obr. 5.32 Uchopená pěti trubek v zásobníku

Nespornou výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost, která spočívá v pevném určení drah robotů a jednoduché konstrukci hlavice, která je sériově vyráběna s jistou zárukou funkce. Při použití pouze jedné kamery s relativně jednoduchou funkcí detekce trubky částečně odpadá problém s prašným prostředím a odlesky, jelikož není navigace robotu přímo závislá na kameře, není nutnost dokonalého Obrazu tak palčivým problémem. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost synchronizace pohybů jednotlivých dopravníků linky, aby byl robot schopen být ve správný čas na správném místě i po změně taktu linky.

5.1.1 Výběr nejvhodnějšího řešení

Obě výše uvedená řešení pracoviště mají své výhody i nevýhody, ke kterým je třeba přihlížet při výběru toho správného. Na základě všeobecných funkčních požadavků (viz *kap 4.1.5*) vyplývá, že v současné fázi lze objektivně posoudit pouze složitosti či jednoduchost daných řešení. Z tohoto důvodu byla, po konzultaci ve společnosti ABB, sjednána schůzka se zadávající společností, na které byla projednána obě řešení, byla zde projednána i možnost záměny úchopných hlavice mezi jednotlivými pracovišti, nicméně bylo rozhodnuto ve prospěch řešení č.2 – Robotické pracoviště s detekcí poloh pomocí pevných snímačů s externím zásobníkem.

Rozhodnutí bylo provedeno na základě nižší předpokládané ceny proti kamerovému systému a dále z důvodu jednoduššího řídicího systému, neboť v současné době nemá zákazník s roboty žádné zkušenosti.

6 Specifikace částí robotického pracoviště

Tato kapitola se zabývá specifikací jednotlivých částí robotického pracoviště a to od robotu, přes úchopnou hlavici a navádění až po bezpečnostní prvky.

6.1 Průmyslový robot

Volba průmyslového robotu představuje jednu z nejdůležitějších etap návrhu celého robotického pracoviště. Tato volba ovlivňuje následný návrh veškerých periferií s přímou návazností na parametry zvoleného robotu. Při volbě vhodného robotu, je nutné stanovit jeho základní parametry, vzhledem k požadavkům u vykonávaného pracovního cyklu. Kde lze za hlavní faktory, ovlivňující volbu robotu, považovat tyto body:

- Prostorové možnosti - kinematika robotu
- Hmotnost přenášeného břemene - nosnost robotu
- Manipulační rozsah pro dané pracoviště - dosah robotu
- Časový cyklus pracoviště - zrychlení robotu

1) Kinematická struktura robotu

Vzhledem k hmotnostem překládaných trubek (viz Tab.4.1), které se pohybují pouze v řádech stovek gramů, konkrétně s horní hranicí 320 gramů, se přímo nabízí použití robotu s paralelní kinematickou strukturou. Paralelní kinematická struktura se vyznačuje relativně vysokou dynamikou pohybu, vysokou tuhostí a vysokou opakovatelnou přesností polohování oproti struktuře sériové. Jelikož u překládání trubek není kladen velký důraz na extrémně vysokou přesnost polohování a vysokou dynamiku pohybu, byla zvolena sériová kinematická struktura s angulárním uspořádáním. Toto uspořádání bylo také zvoleno pro svou nižší pořizovací hodnotu, ať v případě samotného robotu, tak i řídicího systému.

2) Nosnost robotu

Navržený koncept pracoviště má přímý vliv na požadovanou nosnost robotu a to vzhledem k tomu, že bude manipulováno s maximálně pěti trubkami o celkové hmotnosti 1,6 kilogramů. K této hodnotě se nutně musí přičíst hmotnost úchopné hlavice včetně čelistí a příruby k připojení k robotu. Předpokládaná hmotnost této

soustavy vzhledem k rozměrům a hmotnosti uchopovaných trubek byla dle katalogu SMC odhadnuta na cca 2,5 kilogramů. Při volbě nosnosti je třeba také uvažovat vyložení těžiště úchopné hlavice s trubicí vzhledem k ose koncové příruby robotu. Tyto skutečnosti předpokládaných manipulovaných hmotností vedou k zaměření se na nosnosti robotů v rozmezí mezi 5 až 10 kilogramy.

3) Dosah manipulace robotu

Manipulační rozsah robotu musí být tak velký aby robot spolehlivě dosáhl na vstupní, resp. výstupní přípravky jednotlivých částí linky a také byl schopen spolupracovat s externím zásobníkem. Dle rozložení linky je třeba se zaměřit na rozsahy robotů v rozmezí od 1 ÷ 1,5 metru.

4) Zrychlení robotu

Zrychlení a pohybové možnosti robotu se volí dle požadavku na časový cyklus linky, kterou má robot obsluhovat. Pro linku DipFluxer je nejmenší časový cyklus pro přeložení jedné trubky 7,2 sec., což představuje potřebnou rychlost robotu cca 1 m/s a více, při náběhu na potřebou rychlost za 0,1 sec lze zrychlení robotu volit 10 m/s² a více. Z výše uvedených parametrů lze sestavit Tabulku (Tab. 6.2) požadovaných parametrů pro snadnější určení typu vhodného robotu.

Kinematická struktura	Sériová – angulární
Nosnost	5 ÷ 10 kilogramů
Dosah	1 ÷ 1,5 metru
Rychlost	1 m/s a více
Zrychlení	10 m/s ² a více

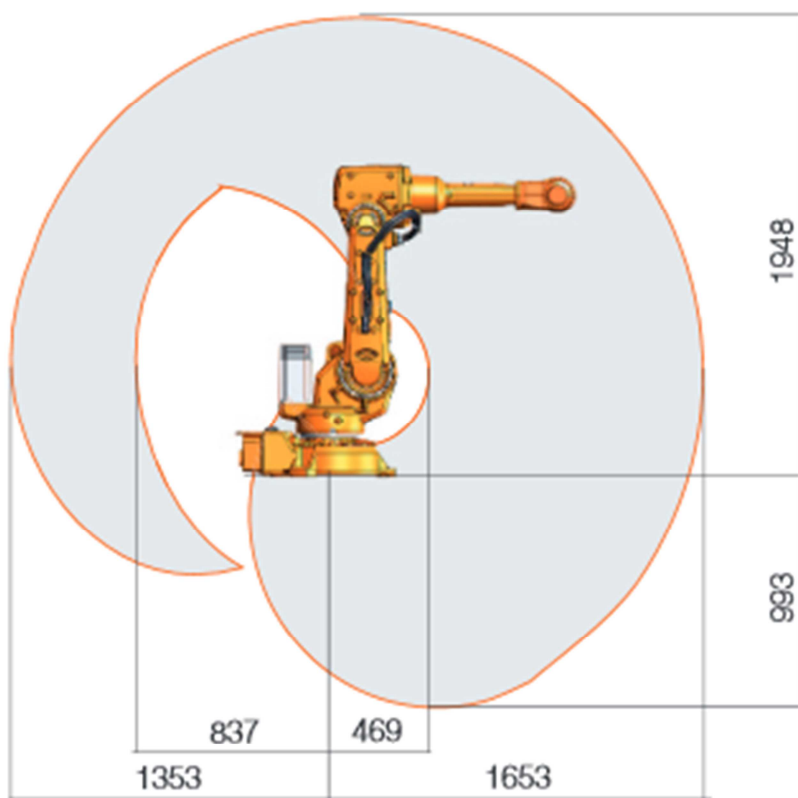
Tab. 6.2 Požadované parametry robotu

Pro uvedené parametry z Tab. 6.2 vyhovují následující roboty ABB, kde pro rychlost a zrychlení výrazně převyšuje požadované hodnoty (1 m/s, resp. 10m/s²)

Typ robotu	Nosnost [kg]	Manipulační dosah [m]
IRB 1200	5	0,9
IRB 1600	6 (10)	1,2 (1,45)
IRB 2600	12	1,65

Tab. 6.3 Parametry vybraných robotů ABB^[9]

Z Tab. 6.3 byl vybrán robot **IRB 2600-12/1,65**, jehož pracovní prostor (Obr. 6.33) plně vyhovuje potřebám navrhovaného pracoviště. Z Obr. 6.33 vyplývá, že šíře pracovního prostoru ve vodorovné rovině je 730 mm, což umožní dobrou spolupráci mezi výstupem, resp. vstupem do linky a externím zásobníkem trubek.



Obr. 6.33 Rozsah manipulace robotu **IRB 2600-12/1,65**^[9]

6.2 Úchopná hlavice

Jak bylo uvedeno v 5. kapitole, volba pracovní hlavice bude zaměřena na sériově vyráběné hlavice od společnosti SMC, která produkuje velkou škálu různých typů hlavic pro různé použití.

Jelikož je nutné manipulovat s velmi rozmanitým rozměrovým spektrem trubek, je žádoucí zvolit takovou hlavici, která bude schopna tuto rozmanitost svým rozsahem pokrýt a spolehlivě uchopit jakýkoliv druh trubky daný *Tab. 4.1*. Dále pak umožní uchopení pěti trubek při spolupráci s ponornou vanou a externím zásobníkem (viz *Obr. 5.32*).

Z tohoto je zřejmé, že podtlaková technika (přísavky) v tomto případně nepřipadá v úvahu, i při použití většího počtu přísavek by se nedosáhlo spolehlivé manipulace a hospodárného provozu. Použití hlavice s aktivními elektromagnety znemožňuje materiál trubek, kterým je leštěný dural.

Při uvažování mechanických hlavic lze předem vyřadit hydraulický pohon. Jelikož se jedná o lehké součástky, lze předpokládat, že potřebná úchopná síla nebude převyšovat možnosti pneumatických hlavic. Dále lze uvažovat použití pohonu elektrického, neboť i ten se hodí pro malé a středně velké úchopné síly.

Pro správné a finální určení typu a velikosti úchopné hlavice je třeba určit její specifické parametry tak, aby byla schopna plnit požadovaný pracovní cyklus s velkou bezpečností uchopení. Tyto parametry především jsou:

- Rozevření – sevření čelistí a zdvih hlavice
- Počet a rozmístění prstů čelistí hlavice
- Velikost úchopné síly
- Pohon hlavice

1) Sevření – rozevření čelistí a zdvih hlavice

Sevření a rozevření čelistí je dáno rozměry trubek (*Tab. 4.1*) a to především jejich šířkou, která se pohybuje v rozmezí od 43,8 mm do 70 mm. Hodnota 43,8 mm určuje minimální vzdálenost (sevření) čelistí, která je potřebná pro uchopení trubky s nejmenší uvažovanou šířkou. Pro rozevření čelistí je nutné uvažovat uchopení pěti

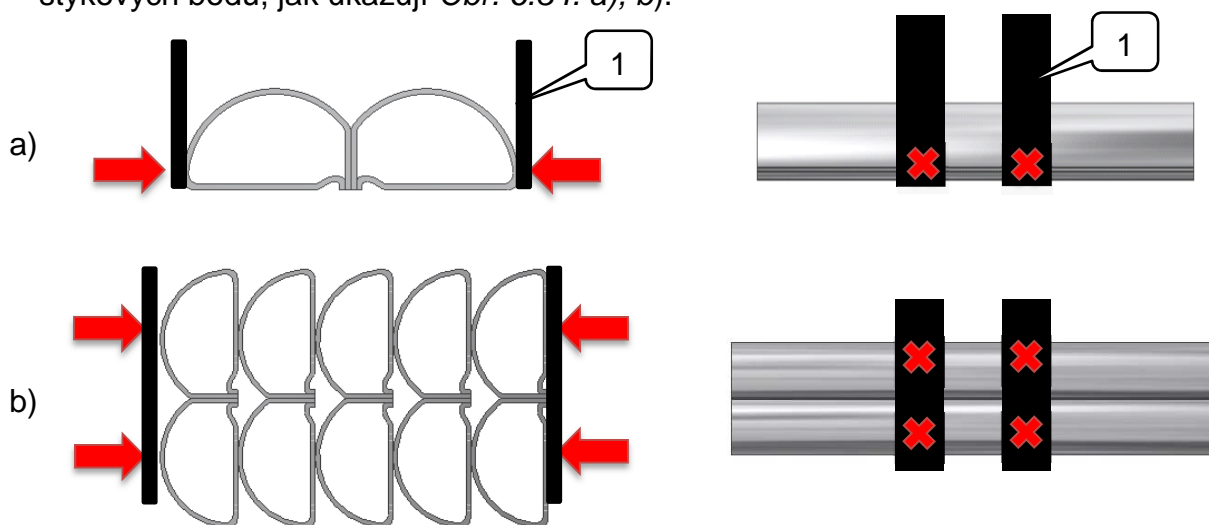
trubek (viz Obr. 3.32) což představuje minimální vzdálenost pro rozevření o hodnotě 90 mm.

Z výše uvedených hodnot lze snadno zjistit minimální zdvih, který musí hlavice podporovat. Požadovaná hlavice musí mít minimální zdvih roven 46,2 mm. Při uvažování paralelního pohybu čelistí (proti sobě) to znamená, že minimální pohyb jedné čelisti musí být 23,1 mm.

2) Počet a rozmístění prstů čelistí hlavice

Na počtu a rozmístění tzv. prstů čelistí hlavice není přímo závislá pouze samotná velikost hlavice, ale také její uchopovací schopnosti a to zejména úchopná síla hlavicí vyvozená. Jak ukazuje výpočet v kapitole 7.1, tak lze říci, že čím větší počet prstů a tím i kontaktních míst samotných čelistí s předmětem navrhne, tím menší bude potřebná síla pro bezpečné uchopení předmětu a jeho následný transport.

Pro správné určení charakteru čelistí je vhodné provést rozbor možného uchopení vzhledem k rozměrům trubek a jejich tvaru. Jak bylo uvedeno v kapitole 4.1.3 o specifikaci trubek, maximální délka trubky je 320 mm. Z této hodnoty lze vyčíst, že použití pouze jedné dvojice čelistí (prstů) není příliš vhodné, neboť by čelist musela být příliš široká, aby byla schopna zachytit klopný moment trubek při pohybu robotu. U takovýchto součástí je výhodnější použití alespoň dvou užších párů prstů, čímž se úchopná síla rozloží do více bodů a narůstá počet stykových bodů, jak ukazují Obr. 6.34. a), b).



Obr. 6.34 Vhodné působíště úchopné síly

Legenda:

1) Prsty úchopné hlavice

3) Velikost úchopné síly

Velikost úchopné síly je vedle zdvihu, hlavním parametrem určující velikost a s ní spojenou hmotnost hlavice. Velikost úchopné síly přímo ovlivňuje bezpečnost s jakou je předmět uchopen, až už jde o bezpečnost uchopení při akceleraci robotu a jeho pohybu, či o bezpečnost při totální deceleraci tzv. emergency stopu robotu. Decelerace při emergency stopu bývá u většiny robotů větší než akcelerace. Z toho vyplývá, že vždy musí být provedena kontrola ztráty stability uchopení při náhlém bezpečnostním zastavení.

Jelikož jsou překládané trubky dále zpracovávány a spájeny s dalšími díly, je nutné při jejich uchopení zvolit úchopnou sílu tak, aby nedošlo k jejich deformaci a nevznikl po uvolnění žádný viditelný vrub od čelistí. Z tohoto důvodu byl proveden experiment (*kap. 7.1*), ze kterého byla určena maximální síla (*Tab. 6.4*), kterou je možné na trubky působit, aniž by došlo k nežádoucímu vrypu.

Typ uchopení	a)	b)
Maximální síla	188N	125N

Tab. 6.4 Dovolené úchopné síly

Kde typ uchopení a) je uchopení jedné trubky za předpokladu pogumovaných čelistí (*Obr. 6.34a*) a typ uchopení b) představuje uchopení pěti trubek (*Obr. 6.34b*), kde dochází k přímému styku trubky s trubkou, tzn. hliníku s hliníkem a zde může dojít k většímu nebezpečí otlačení.

4) Pohon úchopné hlavice

Jak bylo výše zmíněno, konečná volba pohonu se zaměří pouze na pohony elektrické a pneumatické, neboť jsou určeny pro malá a středně velké zatížení. Při bližším průzkumu vybraných typů pohonů bylo zjištěno, že pro danou maximální úchopnou sílu a požadovaný zdvih čelistí plně vyhovuje použití pneumatického pohonu. Pneumatický pohon, na rozdíl od pohonu elektrického, umožňuje dostatečně jemné a především jednoduché nastavení požadované úchopné síly. Použití pneumatiky výrazně přispěje k požadavku na minimalizaci vstupních nákladů a to zejména při samotné pořizovací ceně hlavice. Přívod stlačeného vzduchu bude proveden z centrálního rozvodu, který je součástí již existujícího pracoviště, a nebudou tak vznikat další náklady a práce.

Požadavky na volbu úchopné hlavice jsou shrnuty do *Tab. 6.5*

Zdvih hlavice	46,2mm
Počet a rozmístění prstů čelistí hlavice	Dva páry _(Obr.6.34)
Velikost úchopné síly	125N
Pohon úchopné hlavice	Pneumatický

Tab. 6.5 Požadované parametry úchopné hlavice

Pro uvedené hodnoty v *Tab. 6.5* vyhovují následující úchopné hlavice od firem SMC a FESTO, kde je předpokládán pneumatický pohon a čelisti budou řešeny individuálně.

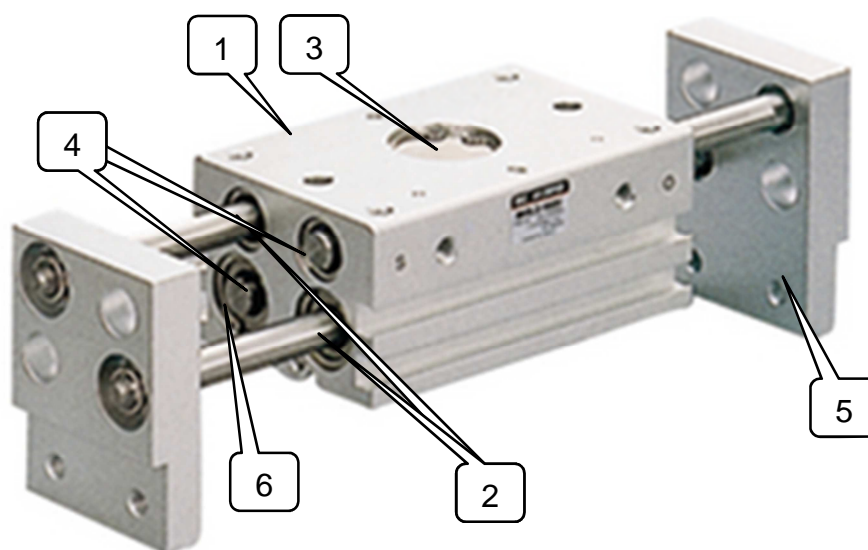
Výrobce	---	SMC		FESTO
Typ hlavice	---	MHF2	MHL2	HGPL
Zdvih	[mm]	8 ÷ 80	20 ÷ 200	20 ÷ 150
Úchopná síla	[N]	19 ÷ 141	14 ÷ 396	63 ÷ 2742

Tab. 6.6 Parametry vhodných úchopných hlavíc^{[18],[19]}

6.2.1 Úchopná hlavice MHL2 – 25D

1) Konstrukce hlavice

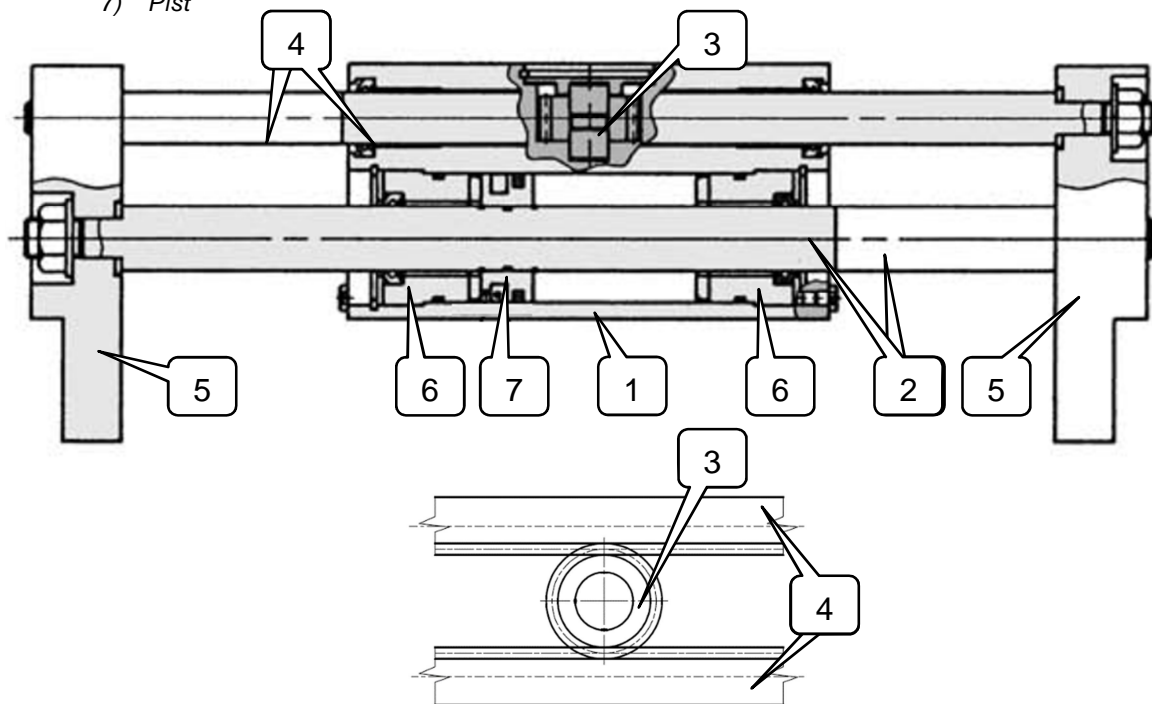
Pomocí Tabulky (*Tab. 6.6*) a po dalším podrobném prostudování katalogů vhodných typů hlavíc, byla vybrána hlavice MHL2 – 25D se zdvihem 60 mm (*Obr. 6.35*) z nabídky společnosti SMC.



Obr. 6.35 Paralelní úchopná hlavice MHL2 – 25D^[18]

Legenda: (společné pro Obr. 6.35 a Obr 6.36)

- 1) Těleso úchopné hlavice
- 2) Pístnice
- 3) Ozubený pastorek
- 4) Ozubené tyče = lineární vedení
- 5) Držák čelistí
- 6) Čelo válce
- 7) Píst



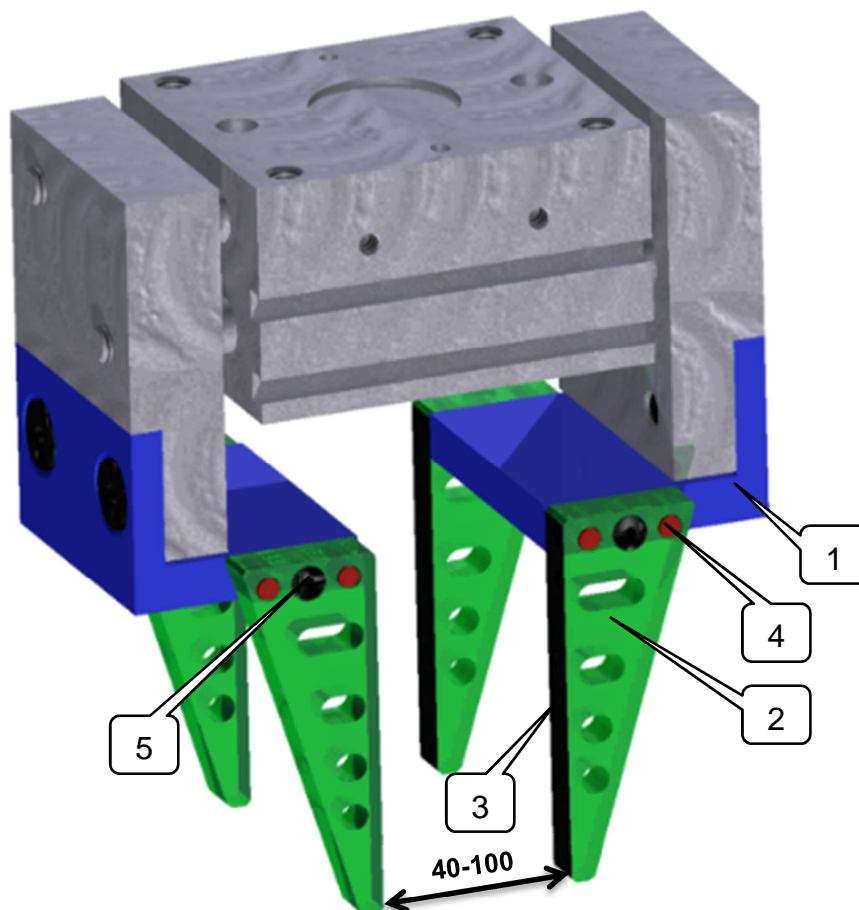
Obr. 6.36 Konstrukce úchopné hlavice MHL2 – 25D^[18]

V tělese hlavice (poz.1) je mino běžné součásti pneumatických válců, jako jsou píst (poz.7), čela válce (poz.6), nimiž procházejí pístnice (poz.2), které zajišťují pohyb držáků čelistí (poz.5), také ozubený pastorek (poz.3), který se spoluzabírajícími ozubenými tyčemi (poz.4) zajistí dokonalý paralelní chod čelistí. Paralelní chod čelistí zajistí spolehlivou opakovatelnost uchopení součásti v ose těžiště hlavice, což je velkou předností tohoto typu hlavice.

2) Úchopné čelisti s prsty

Jak bylo výše stanoveno, je nutné navrhnout úchopnou část hlavice tak, aby byla trubka svírána dvěma páry úchopných prstů (Obr. 6.37). Tyto prsty od sebe musí být vzdáleny maximálně 42 mm, pokud je hlavice zavřena tzn. držáky čelistí jsou v minimální vzdálenosti od sebe. Pro splnění těchto požadavků je nutné samotnou hlavici opatřit nosnými úhelníky (poz.1), které budou namontovány na již zmiňované držáky čelistí. Na tyto nosné úhelníky jsou pevně přišroubovány samotné prsty

(poz.2), které mají za úkol spolehlivě uchopit a zajistit spolehlivý transport bez porušení trubek. To z části zajistí omezení úchopné síly a dále i pogumovaný povrch stykových částí prstů (poz.3).



Obr. 6.37 Úchopná hlavice osazena svěrnými prsty

Legenda:

- 1) Nosné úhelníky pro uchycení prstů
- 2) Úchopné prsty
- 3) Pogumované stykové plochy
- 4) Kolíkové spojení (kolík $\varnothing 5 \times 18$ ISO 2338)
- 5) Šrouby

Moment vzniklý úchopnou silou mají za úkol zachytit kolíkové spoje (poz.4), které byly zkontrolovány jak na otláčení, tak na stříh (kap. 7). Ostatní spoje kontrolovány nebyly, neboť nejsou zatíženy vnější silou nebo jsou navrženy výrobcem hlavice a jejich únosnost garantuje výrobce. Kolíky jsou doplněny o šroubové spoje (poz.5), šrouby slouží jako upevňovací prvek, tudíž je nutné jištění proti samovolnému povolání pomocí lepidla na závity SONLOK 3270.

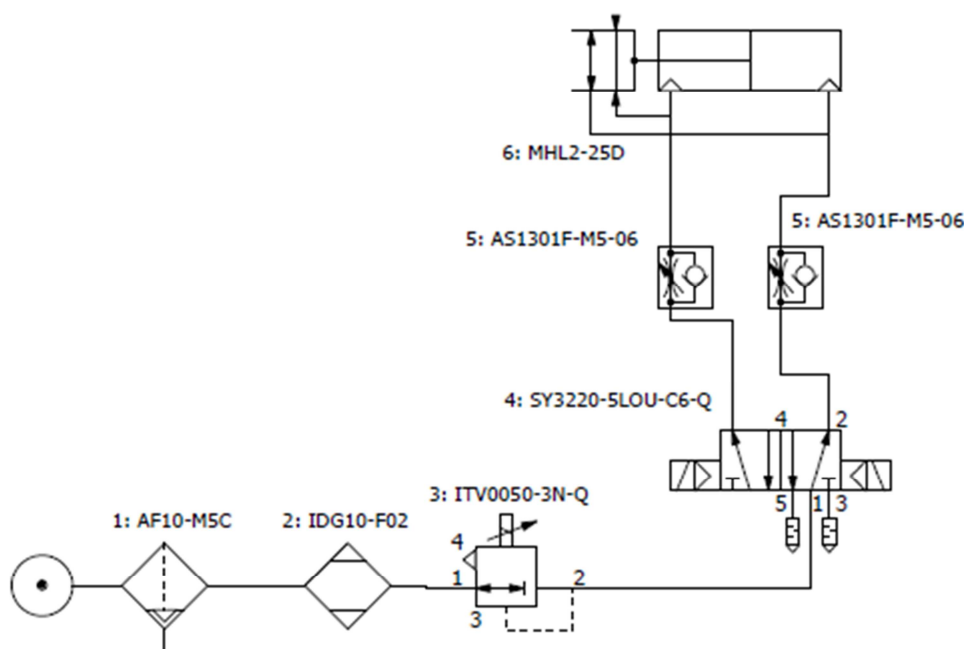
3) Návrh pneumatického obvodu úchopné hlavice

Před vlastní návrhem pneumatického obvodu úchopné hlavice bylo nutné stanovit maximální parametry charakterizující pneumatické obvody (Tab. 6.7), které musí prvky navrženého obvodu splňovat, tzn. stanovení maximálního průtoku obvodem Q , pro dosažení požadované produktivity uchopení a stanovení maximálního tlaku p , pro dosažení maximální bezpečnosti uchopení, a to jak z pohledu poškození trubek, tak s ohledem na total stop robotu. Tyto parametry byly stanoveny v kap. 7.1, v závislosti na hodnotách získaných experimentem pro stanovení maximální úchopné síly.

Maximální tlak v obvodu	p [MPa]	0,5
Maximální průtok v obvodu	Q [l/min]	5

Tab. 6.7 Maximální tlak a průtok v obvodu

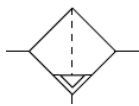
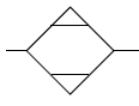
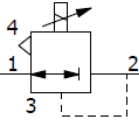
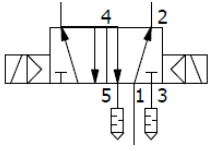

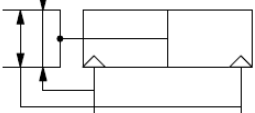
Pro řízení úchopné hlavice byl navržen pneumatický obvod (Obr. 6.38), ve kterém jsou použity výhradně prvky od společnosti SMC, stejně jako samotná úchopná hlavice.



Obr. 6.38 Pneumatický obvod řízení úchopné hlavice MHL2-25D

Kompletní obvod bude napájen z centrálního rozvodu stlačeného vzduchu, u kterého není zaručena vlhkost ani čistota vzduchu, proto je nutné před řídicí prvky umístit jednak filtr s porézností 5 μm , tato hodnota byla zvolena na základě katalogových požadavků na čistotu vzduchu řídicích prvků. Dále pak odlučovač

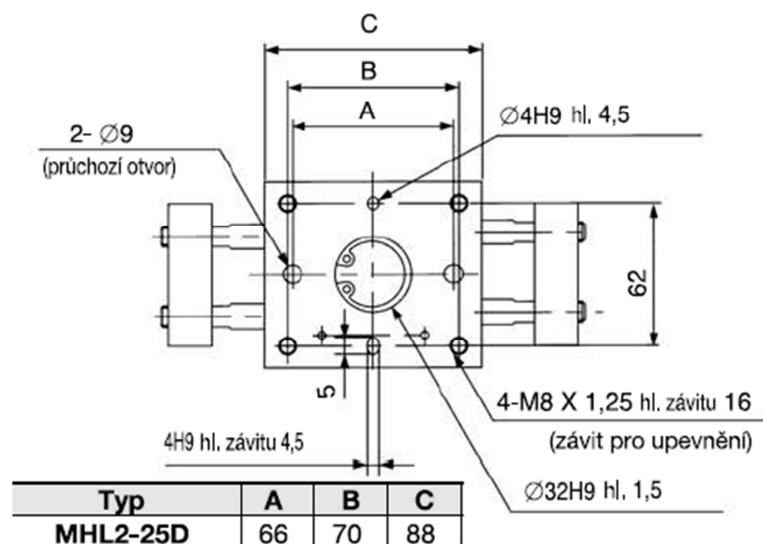
vlhkosti s automatickým odvodem vody. K plynulé regulaci tlaku dle závislosti popsané v *kap. 7.1* na *Obr. 7.53* bude použit proporcionální redukční (tlakový) ventil, který na základě signálu z řídicího systému nastaví požadovaný tlak potřebný k bezpečnému uchopení sběrných trubek. Pro řízení směru pohybu čelistí úchopné hlavice byl zvolen bistabilní rozvaděč, který je ovládán na základě požadavků pracovního cyklu pomocí signálu z řídicího systému robotu. Škrťací ventily jsou součástí šroubení úchopné hlavice a budou nastaveny na konstantní rychlost pohybu čelistí hlavice. Podrobná specifikace jednotlivých prvků v *Tab. 6.8*

Označení	Popis
Pneumatická značka	
1: AF10 – M5C	Modulární jednotka filtrace vzduchu
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitý průtok 110 l/min; poréznost filtru 5 µm
2: IDG10 – F02	Odlučovač vlhkosti s automatickým odvodem vody
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitý průtok 110 l/min
3: IVT0050 – 3N – Q	Proporcionální redukční ventil
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitý průtok 6 l/min; vestavěné rychlospojky Ø 6 mm; filtrace ≤ 5 µm
4: SY3220 – 5LOU – C6 – Q	BisTabilní rozvaděč 5/2 elektricky ovládaný
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitý průtok 110 l/min; vestavěné rychlospojky Ø 6 mm; filtrace ≤ 5 µm
5: AS1301F – M5 – 06	Škrťací ventil
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitý průtok 110 l/min; vestavěné rychlospojky Ø 6 mm
6: MHL2 – 25D	Paralelní úchopná hlavice
	max. provozní tlak 1MPa; jmenovitá úchopná síla 140N; průměr pístu 25mm; Zdvih čelistí 60mm

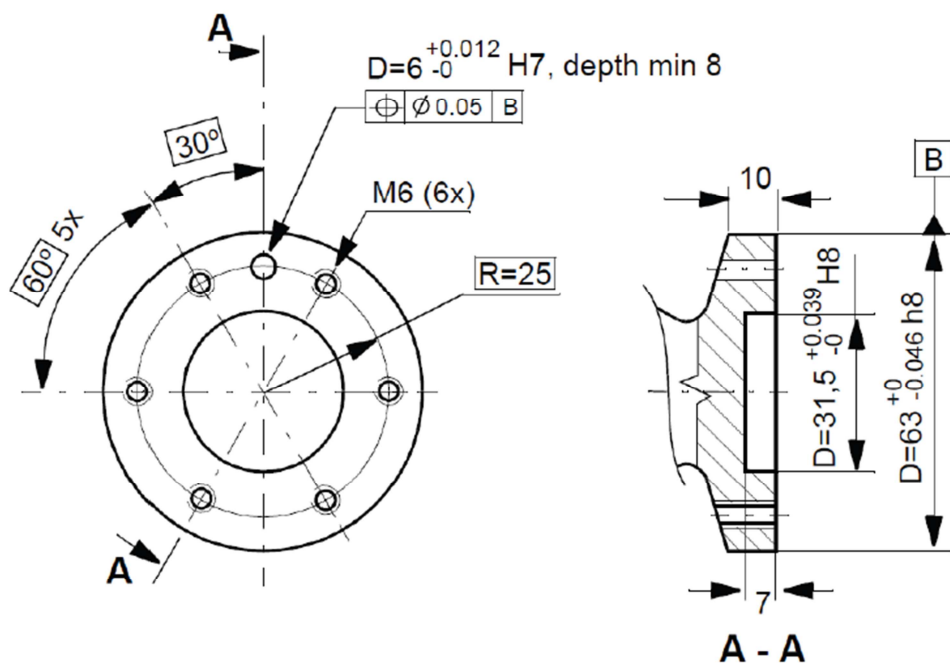
Tab. 6.8 Specifikace prvků pneumatického obvodu úchopné hlavice

4) Připojení úchopné hlavice k robotu

Jelikož samotná úchopná hlavice MHL2 – 25D nemá vhodné interface (Obr. 6.39) pro připojení k robotu IRB 2600–12/1,65, který je na konci osazen přírubou viz Obr. 6.40., je nutné použít mezičlánek (Obr. 6.41), který umožní spojení úchopné hlavice s koncovou částí robotu.



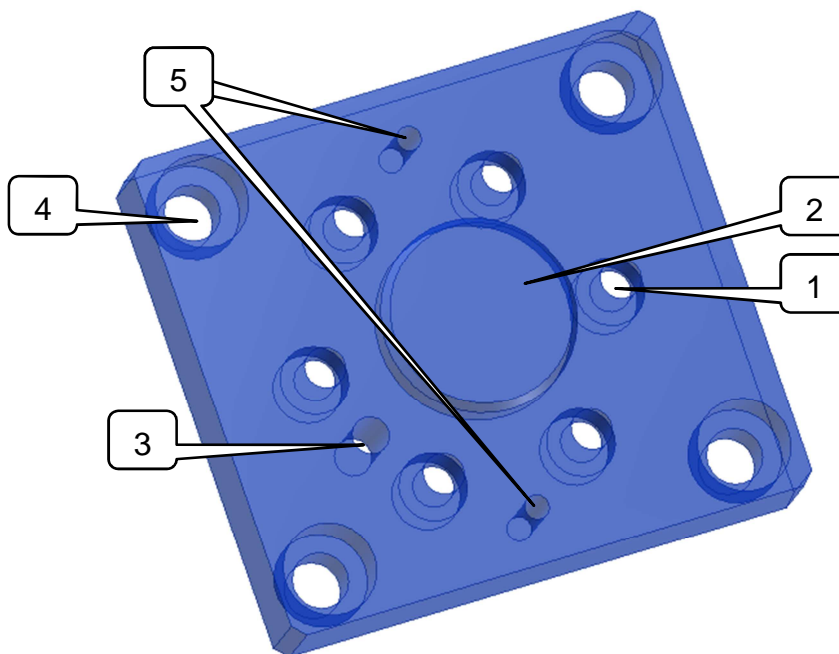
Obr. 6.39 Připojovací interface úchopné hlavice^[18]



Obr. 6.40 Koncová příruha robotu IRB 2600-12/1,65^[9]

Tento mezičlánek je vyroben ze slitiny hliníku EN AW 6082 (dle EN 573-3) a umožňuje pevné spojení koncové příruby robotu pomocí otvorů (poz. 1) pro šrouby M6 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem (ISO 4762). K vystředění mezičlásku

na přírubu robotu slouží válcová část (poz.2) a dále pak stružená díra pro válcový kolík Ø6x20 (ISO 2328) poz.3. Pro připojení úchopné hlavice k mezičlánku jsou z druhé strany zahloubeny díry pro šroub M8 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem (ISO 4762) poz.4. K zajištění přesné polohy hlavice slouží dva válcové kolíky Ø4x20 (ISO 2328) poz.5.



Obr. 6.41 Mezičlánek pro připojení úchopné hlavice k robotu

Legenda:

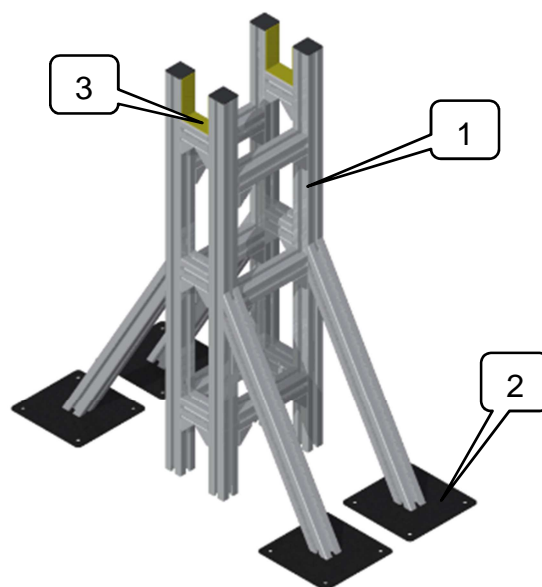
- 1) Díry pro šroub M6x20 ISO4762 pro připojení k robotu
- 2) Osazení pro vystředění pro vystředění mezičlánku na robot
- 3) Vystružená díra pro dodržení přesné polohy koncové příruby robotu s mezičlánkem
- 4) Díry pro šroub M8x16 ISO4762 pro připojení k hlavici
- 5) Vystružené díry pro dodržení přesné polohy úchopné hlavice s mezičlánkem

6.3 Externí zásobník sběrných trubek

Další velmi důležitou částí navrženého pracoviště je externí zásobník (Obr. 6.42), který umožní postupné vrstvení pěti sběrných trubek při spolupráci robotu se vstupem ponorné vany. Déle pak umožní postupné odebírání jednotlivých trubek při spolupráci robotu s výstupem ponorné vany a dopravním pásem samotné linky DipFluxer.

Externí zásobník bude vyroben z tažených hliníkových profilů (poz. 1) společnosti ALUTEC K&K, která se specializuje na stavbu jednoúčelových zařízení, montážních

stolů a různých přípravných pracovišť. Nutnou součástí většiny přípravných pracovišť jsou patky (poz.2) sloužící pevnému ustavení zásobníku k podlaze.^[24]

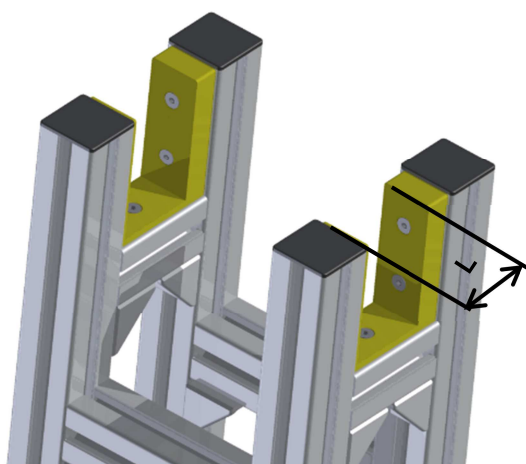


Obr. 6.42 Externí zásobní sběrných trubek

Legenda:

- 1) Externí zásobní z tažených hliníkových profilů
- 2) Kotvicí patky
- 3) Kompenzační výstelka

Vzhledem k rozměrovému charakteru překládaných sběrných trubek a celkové plynulosti chodu linky bez kolizí, při uchopení trubek v zásobníku, je nutné kompenzovat rozdílné rozměry trubek. K této kompenzaci je navržena výstelka (poz.3), která se bude měnit vždy podle rozměru „L“ (Obr. 6.43) překládané trubky.



Obr. 6.43 Proměnný rozměr výstelky

Výstelka bude ručně měněna při každé změně rozměru sběrných trubek, při kompletním zastavení linky. Jelikož se při této změně vždy přenastavuje sušící výkon

linky, kde samotný náběh na jinou teplotu trvá cca 10 minut (*informace od zadavatele*) a déle se míchá a doplňuje florid hlinito-draselný do ponorné vany, takže ruční výměna nikterak nezbrzdí samotný takt linky. Tyto změny se dějí pouze při změně směny linky.

6.4 Navigace robotů

Jelikož je celé robotické pracoviště založené na spolupracujících řetězových dopravních pásech se dvěma roboty, proto je nutné oba roboty navigovat na zakládací přípravky. Zakládací přípravky mají na řetězovém dopravníku pevnou pozici a je tedy zapotřebí snímat pouze jejich rychlost, kdežto polohu pro uchopení dopočítává řídicí systém. Jak je z předchozího textu patrné (*kap.4.1.2*), tak vstup do celé linky je obsluhován ručně, tudíž není přesně zajištěna poloha vložení trubky do přípravku a také se může stát, že trubka nebude správně orientována (*kap.4.1.1*), proto je nutné před první robot zařadit kameru, která zajistí, že žádná podobná kolize nenastane.

6.4.1 Kamerový systém

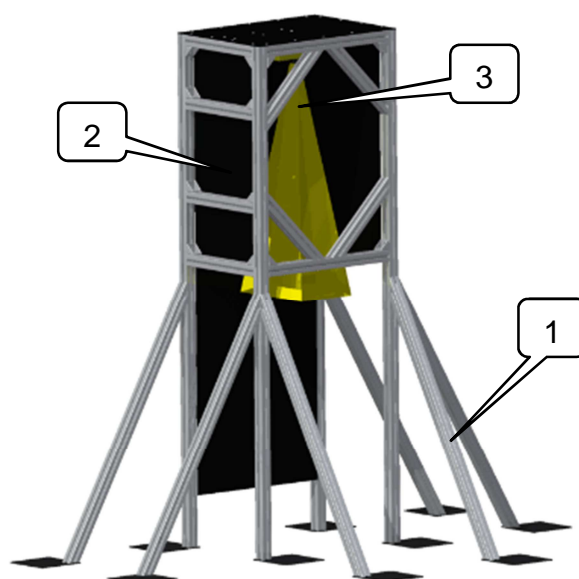
Pro výše zmíněné účely byla zvolena kompaktní kontrolní kamera (*Obr. 6.44*) Checker od společnosti COGNEX^[13], a která se vyznačuje vysokou jednoduchostí a zároveň spolehlivostí. Jednoduchost byl jedním z hlavních požadavků na celé robotické pracoviště, který tato kamera splňuje do posledního detailu. Výrobce udává, že i nezaškolený uživatel dokáže tuto kameru sám intuitivně nastavit, pomocí programu One-Click SetupTM, během několika minut.



Obr. 6.44 Kontrolní kamera Checker COGNEX^[13]

Jednou z mnoha předností této kamery je i to, že má integrovaný vlastní světelný modul a není jej třeba dále řešit. Jelikož se nikterak nemění ani hloubka snímaného

Obrazu, není nutné během chodu linky recalibrování kamery, a tudíž postačí její pevné přichycení k nosnému rámu (Obr. 6.45).^[13]



Obr. 6.45 Zakrytovaný nosný rám kamery

Legenda:

- 1) Nosný rám z tažených hliníkových profilů
- 2) Krytování kamery
- 3) Kamera s naznačením snímacího paprsku

Nosný rám je stejně jako externí zásobní vyroben z tažených hliníkových profilů od společnosti ALUTEC K&K, jak je uvedeno v *kap. 5*, celá linka je v prašném prostředí a to mohlo mít negativní vliv na spolehlivost kamery. Z tohoto důvodu bylo navrženo zakrytování nosné konstrukce, které se snaží zminimalizovat možnost přístupu prachu k čočce kamery. Toto zakrytování je vyrobeno z neodrazivého a neprůhledného plexiskla, které zabraňuje případným nežádoucím odleskům do objektivu kamery. Pokud by se po čase kamera zaprášila přes spodní nezakrytý výstup zorného pole objektivu, je vybavena automatickou detekcí neostrosti Obrazu a řídicí systém upozorní obsluhu na možnou nesprávnou funkci kontroly a navádění.

6.4.2 Snímání rychlosti

Jelikož motory, které pohánějí jednotlivé dopravníkové pásy, jsou již součástí linky a nemají integrovány žádné odměřovací snímače, bude nutné použít snímače externí.

Pro snímání rychlosti všech tří řetězových dopravníků (dopravník odmašťovací části linky, dopravník ponorné vany i dopravník sušící části linky),

budou použita inkrementální rotační čidla (Obr. 6.46). Tato čidla budou namontována na hřídel pohonu samotných dopravníků. Montáž IRC snímačů – snímač se nasadí na snímanou hřídel a zajistí se pomocí dvou imbus šroubů M4, poté se snímač natočí do požadované polohy tak, aby bylo možno výstupní kabel uchytit tak, aby svoji vahou co nejméně namáhal samotný snímač.^[25]



Obr. 6.46 Inkrementální rotační čidlo LARM^[25]

Z nabídky IRC snímačů firmy LARM a.s. byl po konzultaci s obchodním oddělením zvolen snímač IRC 325, který byl pro spolupráci s řídicími systémy robotických pracovišť přímo vyvinut. Jak je výše uvedeno, základní přípravy trubek mají mezi sebou konstantní vzdálenost, která je pevně daná a všude stejná. Pokud bude řídicí systém znát polohu jednoho referenčního přípravku, dokáže robot při znalosti rychlosti celého řetězového dostavníku spolupracovat se základními přípravky rozmístěnými po celé délce dopravníku. Tzn. že robot nemusí čekat na přesnou polohu přípravku, ale může spolupracovat s přípravky v celém svém dosahu.^[25]

Oba signály, jak z kontrolní kamery, tak z inkrementálního rotačního čidla, se softwarově spojí pomocí programu PickMaster 3 z produkce firmy ABB, který byl pro dané problémy vyvinut.

6.5 Bezpečnostní systém

Jelikož se robotické pracoviště bude nacházet ve výrobní hale, ve které se pohybuje velké množství pracovníků, obsluhujících ostatní pracoviště, proto není přípustné, aby jakákoliv pohyblivá část byla volně přístupná a mohla tak někoho ohrozit.

Z toho důvodu bude celé pracoviště oploceno modulárním oplocením TROAX (Obr. 6.47). Modulární systém přináší hlavní výhodu v jednoduché montáži a snadné integraci přístupových bodů. Pro navrhované pracoviště byl vybrán modulární systém oplocení z řady Smart Fix, který je testován na náraz o energii $E = 1600 \text{ J}$.^[14]

Jelikož zvolený robot IRB 2600-12/1,65 vyvine při maximální rychlosti kinetickou energii $E_{kR} = 728 \text{ J}$ je jasné, že bezpečnostní oplocení je zvoleno s ohledem na maximální bezpečnost.^[9]



Obr. 6.47 Modulární bezpečnostní oplocení Troax^[14]

Legenda:

- 1) Pevný panel modulárního oplocení
- 2) Dveře modulárního oplocení – přístupové body
- 3) Elektromagnetický bezpečnostní zámek

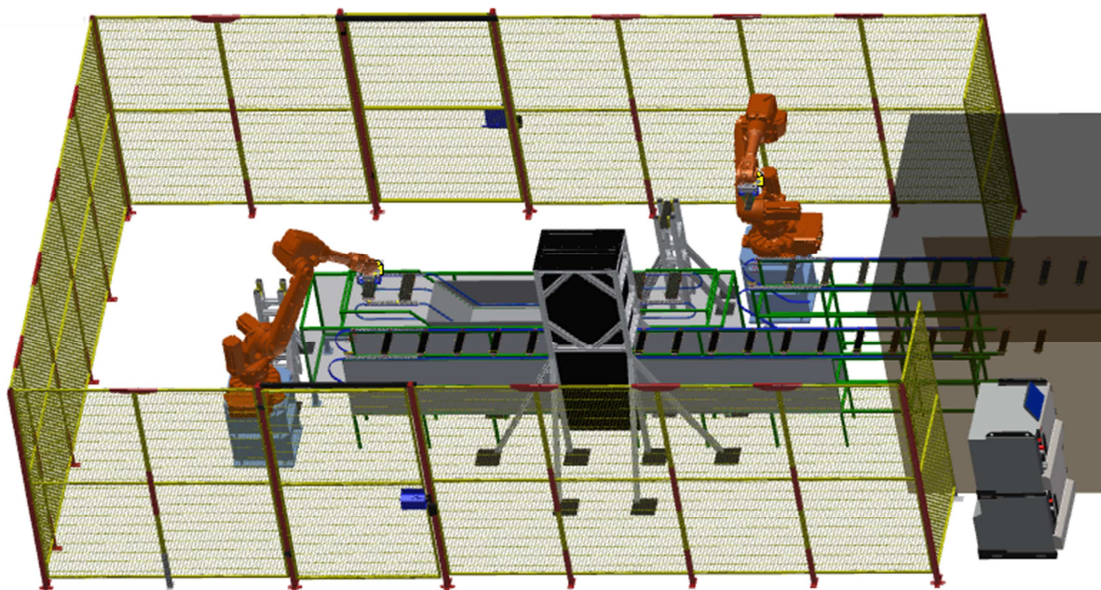
Přístupové body budou řešeny pomocí dveřního systému (poz.2), který je zajištěn elektromagnetickým zámekem, jenž zamezuje přístupu do prostoru robotického pracoviště při jeho provozu. Zároveň zamezí rozběhu linky při nezajištění dveří.



Obr. 6.48 Tlačítko centrál stop ES-FB2NC a bezpečnostní relé ESM-BA7 - EUCHNER ^[26]

U obou přístupných bodů a to z obou stran dveří, budou přidělena tlačítka centrálního stopu ES-FB2NC celé linky, která slouží k aktivaci totál stopu robotu. Pro připojení elektromagnetických zámků a tlačítek centrál stopu jsou připojena do bezpečnostních relé ESM-BA7.

Rozmístění a rozměry všech výše popsaných prvků včetně bezpečnostního oplocení jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci, která je přílohou této práce. Finální rozložení zvolených prvků zobrazuje Obr. 6.49.



Obr. 6.49 Finální rozložení robotického pracoviště

7 Výpočtová část

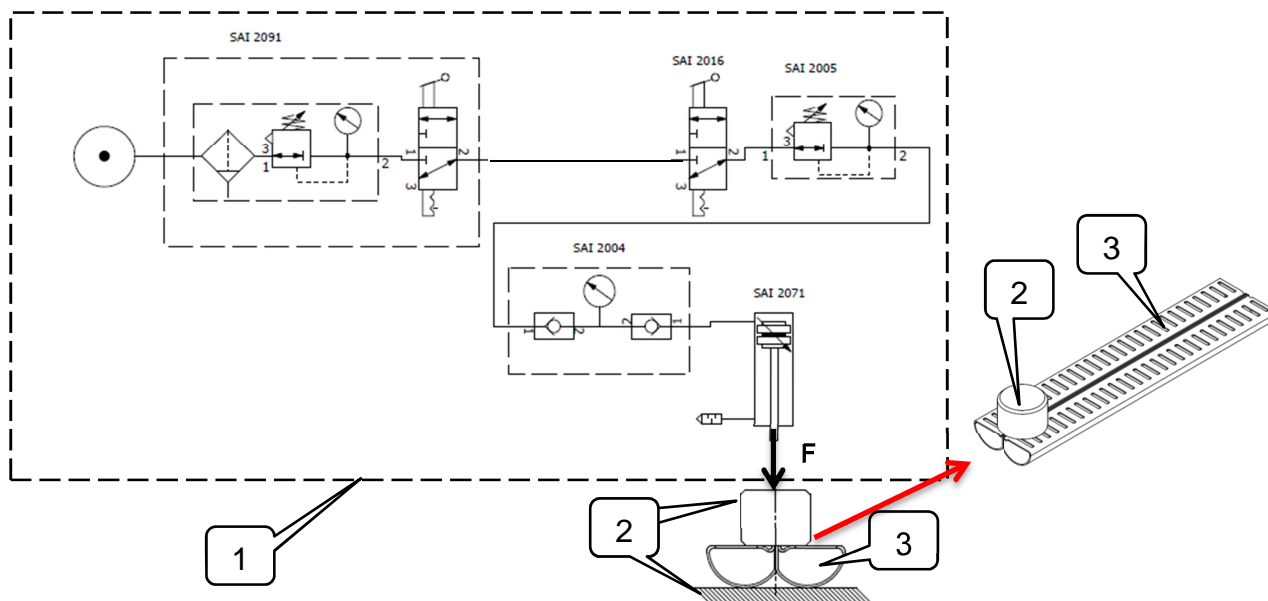
V této kapitole budou popsány všechny provedené výpočty při návrhu robotického pracoviště pro přerovnávání sběrných trubek. Výsledky uvedené v následujících Tabulkách jsou podloženy podrobným výpočtem pomocí programu MS Excel v CD příloze diplomové práce.

7.1 Kontrolní a návrhové výpočty úchopné hlavice

1) Experiment pro stanovení mezní úchopné síly

Při zpětném pohledu na způsob uchopení, zejména pěti trubek mezi čelisti (Obr. 6.34b) je jasné, že zde dochází k přímému styku trubky s trubkou. Dochází zde tedy ke kontaktu hliníku s hliníkem a tím vzniká potenciální nebezpečí poškození trubek mezi sebou, ať už přímým otláčením a zdeformováním trubek při působení statické úchopné síly, tak vznikem vrypů a rýh při dynamickém sevření čelistí hlavice. Z těchto důvodů byl proveden experiment, při kterém byly stanoveny horní hodnoty úchopných parametrů hlavice.

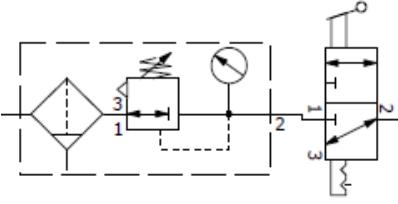
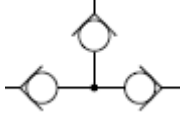
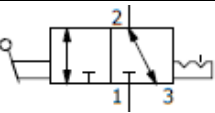
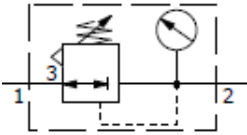
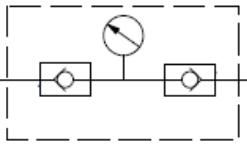
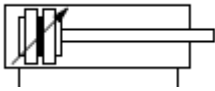
Jelikož nebyla k dispozici žádná vhodná úchopná hlavice nebo měřící aparatura se siloměrem, byl experiment proveden pomocí výukového standu SMC PneuTrainer. Pro experiment byl navržen pneumatický obvod (Obr. 7.50) ze stavebnicových prvků (Tab. 7.9) zmíněného standu.



Obr. 7.50 Pneumatické schéma zatěžovacího zařízení.

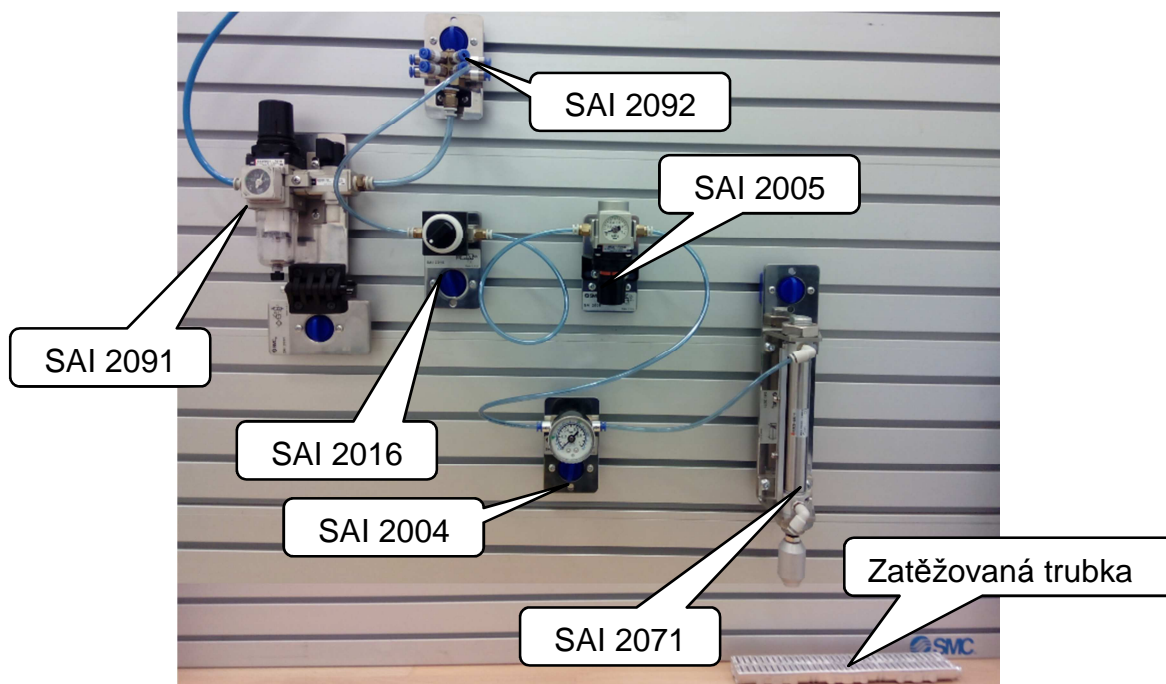
Legenda:

- 1) Pneumatické schéma navrženého experimentu
- 2) Náhrada úchopných čelistí
- 3) Zkoumaná sběrná trubka

Označení	Popis
Pneumatická značka	
SAI 2091	Modulární jednotka úpravy stlačeného vzduchu
	<p>Filtrace - 5µm</p> <p>Regulátor tlaku – 0,05 ÷ 0,85 MPa</p> <p>Manometr – 1 MPa</p> <p>Rozvaděč 3/2 – ručně ovládaný ventil pro připojení tlaku v obvodu</p>
SAI 2092	Rozvodný blok
	<p>Možnost až 8 rozvodných větví</p> <p>Připojení hadičky => automatické otevření zpětného ventilu</p>
SAI 2016	Rozvaděč 3/2 + otočné tlačítko s aretací
	<p>Rozvaděč 3/2 pro možnost odlehčení při ručním zpětném pohybu pístu</p>
SAI 2005	Regulátor tlaku s manometrem
	<p>Regulátor tlaku s rozsahem 0 – 1 MPa</p> <p>Manometr slouží k přibližnému určení tlaku</p>
SAI 2004	Manometr
	<p>Možnost velmi přesného odčítání nastaveného tlaku s rozsahem 0 – 1 MPa</p>
SAI 2071	Dvojitý pneumatický válec
	<p>Průměr pístu = 20mm => plocha = 314,2 mm²</p> <p>Zdvih = 100mm</p> <p>Tlumení v krajních polohách s možností snímání polohy pomocí magnetů</p>

Tab. 7.9 Specifikace pneumatických prvků v experimentu^{J21}

Finální zapojení dle pneumatického schématu ukazuje (Obr. 7.51)



Obr. 7.51 Finální zapojení experimentálního zařízení (fotografie)

Jako první bylo provedeno experimentální zatěžování statickou silou po dobu 30 sec., při kterém byla zjištěna maximální možná úchopná síla $F_{\text{úmaxstat}} = 125 \text{ N}$ dle Tab. 7.10, při použití větší síly došlo k nežádoucímu otlacení. Jako výstup experimentu byly zvoleny fotografie zatěžovaného místa sběrné trubky, tzn. část s předpokládanou nejmenší plochou styku sběrných trubek mezi sebou.

Statické zatěžování postupně se zvyšujícím tlakem			
Tlak p [MPa]	Síla F [N]	Výstup	Vyhodnocení
0,1	31,4		<u>Vyhovující</u>
0,2	62,8		
0,3	94,3		
0,4	125,7		
0,45	141,4		<u>! Nevyhovující !</u>
0,5	157,1		

Tab. 7.10 Experiment při statickém zatěžování

Velikost zatěžující síly F byla vypočtena pomocí vztahu:

$$F = p \cdot S \tag{7.2}$$

- F [N] - Zatěžující síla
- P [MPa] - Tlak v obvodu
- S [mm²] - Plocha pístu (314,2mm²)

Jak ukazuje *Tab. 7.10*, při statickém zatěžování tlakem $p = 0,1 \div 0,4$ MPa, tj. silou do $F=125,7$ N, nevznikla na trubce žádná viditelná poškození nebo deformace. Při zvýšení tlaku na hodnotu 0,45 MPa, tj. silou $F = 141,4$ N, bylo po povrchu pozorováno nežádoucí otlačení a viditelná deformace.

Druhá část experimentu byla zaměřena na nebezpečí vzniku poškození vlivem rychlého sevření hlavice, čímž dojde na styku trubek ke zvýšení napětí. Tento jev by mohl zanechat poškození už při výrazně menších silách než při statickém zatížení. Při tomto měření byl zaznamenáván jak tlak, tak velikost průtoku, ze kterého byla vypočítána rychlost pístu dle (7.3) s výsledky v *Tab. 7.11*.

$$v = \frac{Q}{S} \tag{7.3}$$

- v [m/s] - Rychlost pístu
- Q [l/min] - Průtok
- S [mm²] - Plocha pístu (314,2 mm²)

Dynamické zatěžování rozdílným tlakem a rychlostí							
Tlak p [MPa]	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,35	0,4
Síla [N]	31,4	62,8	94,3	110	125,7	110	125,7
Průtok Q [l/min]	4,5	5,5	7	7,2	6	8	9,5
Rychlost v [m/s]	0,24	0,29	0,37	0,38	0,31	0,42	0,5
Výstup							
Vyhodnocení	<u>Vyhovující</u>				<u>Nevyhovující</u>		

Tab. 7.11 Experiment pro dynamické zatěžování

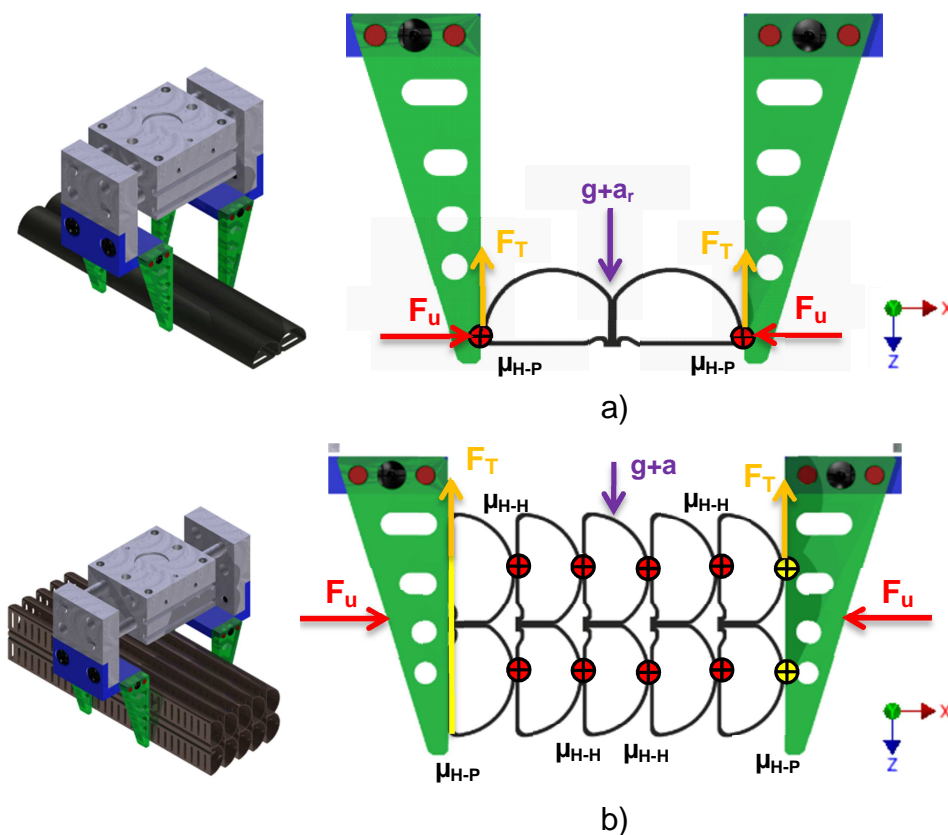
Po několika opakovaných měřeních byly zjištěny krajní hodnoty zajišťující bezpečné uchopení při rychlém sevření hlavice. Nejprve byla trubka zatěžována

s maximální možnou dosažitelnou rychlostí pístu měřicího standu pro daný tlak, při které se objevily první deformace při nastaveném tlaku $p = 0,35\text{MPa}$ a výsledné rychlosti $v = 0,42\text{ m/s}$. Při použití stejného tlaku ($0,4\text{MPa}$), jako při bezpečném statickém uchopení, bylo nutné rychlost pístu snížit na $0,31\text{ m/s}$. Při této rychlosti nevznikly žádné viditelné vrypy či deformace ani při opakovaných pokusech (20 měření).

Po vyhodnocení provedených experimentů, lze stanovit mezní úchopné parametry hlavice tak, že pro dosažení maximální možné úchopné síly $F = 125,7\text{N}$ je nutné regulovat rychlost na $v = 0,31\text{ m/s}$. Jelikož hlavice pracuje s malým zdvihem (60 mm), lze tuto rychlost považovat za vyhovující.

2) Stanovení minimální úchopné síly a průtoku vzduchu obvodem

Pro stanovení minimální úchopné síly byla použita podmínka (7.4)^[18] pro zajištění bezpečného uchopení při daném zrychlení koncového členu robotu dle schématu pro uchopení jedné trubky (Obr. 7.52a) a dále pro uchopení trubek pěti (Obr. 7.52b)



Obr. 7.52 Výpočtové schéma k určení minimální úchopné síly

Podmínka pro stanovení minimální úchopné síly F_u

$$F_u \geq \frac{m \cdot (g + a_r)}{n \cdot \mu_i} \cdot k \quad (7.4)$$

- F_u [N] - Úchopná síla
- m [kg] - hmotnost uchopovaného předmětu (dle Tab. 7.12)
- g [m/s^2] - gravitační zrychlení ($9,89m/s^2$)
- a_r [m/s^2] - zrychlení robotu ($20m/s^2$)^[9]
- k [-] - bezpečnost uchopení (4)^[18]
- n [-] - počet stykových bodů (4 – uchopení jedné trubky; 8 – uchopení pěti trubek)
- μ_i [-] - součinitel smykového tření ($\mu_{Hliník-Hliník} = 0,3$ – pět trubek ; $\mu_{Hliník-Pryž} = 0,7$ - jedna trubka)^[22]

Dle výše uvedeného vztahu (7.4) byla doplněna Tab. 7.12, která ukazuje závislost hmotnosti trubky, resp. trubek na velikosti minimální úchopné síly.

	m [kg]		m [kg]		F_{umin} [N]		F_{umin} [N]
Jedna trubka	0,1	Pět trubek	0,5	Jedna trubka	4,3	Pět trubek	24,9
	0,14		0,7		5,9		34,9
	0,18		0,9		7,6		44,9
	0,24		1,2		10,2		59,8
	0,32		1,6		13,7		79,7

Tab. 7.12 Minimální velikost úchopní síly F_u v závislosti na hmotnosti trubky

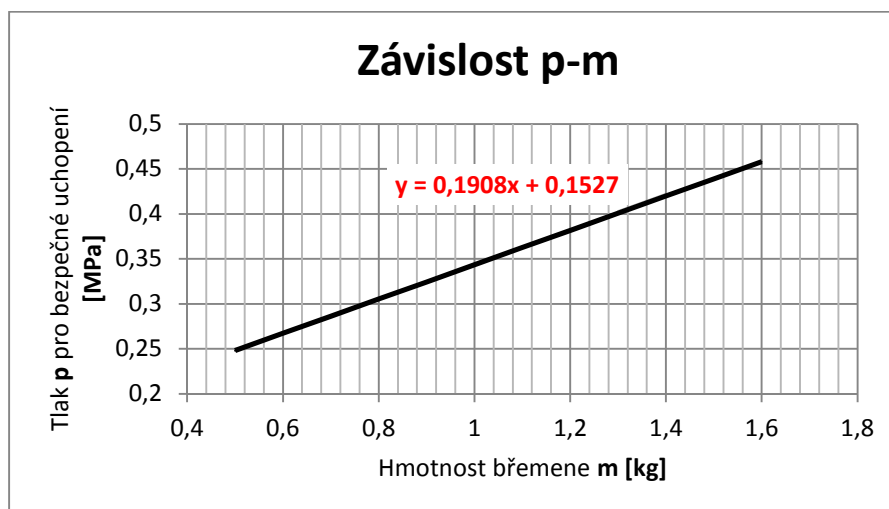
Z Tab. 7.12 je patrné, že pro uchopení nejhmotnější sestavy trubek ($m = 1,6$ kg) je nutné, aby byla vyvozena minimálně síla $F_{umin} = 79,7$ N. Tato síla není vzhledem k bezpečnosti příznivá, proto je reálnou úchopnou sílu nutné přiblížit co nejvíce maximální možné úchopné síle vzhledem k výsledku experimentu (Tab. 7.11). Z tohoto důvodu byla k síle F_{umin} připočtena síla 40N, čímž byla stanovena maximální nutná úchopná síla, kterou musí být hlavice schopna vykonat. Na základě tohoto požadavku a požadavku na hospodárny provoz byla stanovena závislost požadovaného tlaku v hlavici na hmotnosti přenášených trubek dle Obr. 7.53. Dále bylo nutné stanovit průtok vzduchu obvodem pro požadovanou rychlost sevření hlavice $v = 0,3$ m/s dle Tab. 7.11. Potřebný průtok $Q = 4,5$ l/min pro dosažení požadované rychlosti byl vypočten dle vztahu 7.5

$$Q = \frac{60}{10^6} \cdot A \cdot v \quad (7.5)$$

- Q [l/min] - Potřebný průtok pneumatickým obvodem
- A [mm^2] - Činná plocha pístu úchopné hlavice

v [m/s]

- Požadovaná rychlost sevření čelistí hlavice



Obr. 7.53 Závislost tlaku na hmotnosti břemene

Ze závislosti $y = 0,1901x + 0,1538$ (Obr. 7.53), kde za x bude dosazena odpovídající hmotnost dané soustavy trubek, čímž bude určen tlak pro úchopnou hlavici pro danou sestavu. Provozní tlaky pro jednotlivé velikosti trubek jsou uvedeny v Tab. 7.13.

Potřebný tlak pro bezpečné uchopení jednotlivých sestav sběrných trubek													
Hmotnost	[kg]	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Tlak	[MPa]	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42	0,44	0,46

Tab. 7.13 Potřebné tlaky pro jednotlivé sestavy trubek

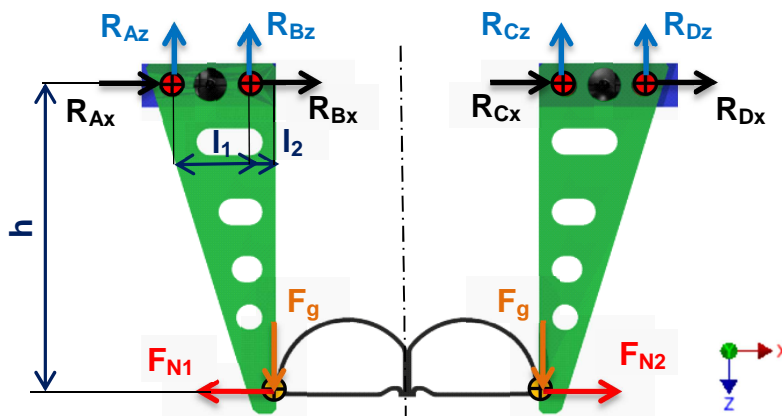
3) Kontrola navržených kolíkových spojů

Pro kontrolu navržených kolíkových spojů úchopné hlavice, je nejprve nutné provést rozbor zatížení na jednotlivých čelistech, poté pomocí rovnováhy sil a momentů určit nejvíce zatížený spoj a stanovit velikost posouvající síly, která slouží k výpočtu smykového napětí a otláčení v kontaktních plochách.

Pro rozbor zatížení je třeba uvažovat dva možné stavy zatížení. Jeden při manipulaci s jednou sběrnou trubkou (Obr. 7.54), druhý při manipulaci se sestavou pěti trubek (Obr. 7.55). Pro kterou situaci vyjde větší posouvající síla, pro tu je nutné provést již zmíněnou kontrolu na smyk a otláčení.

Při posuzování reakčních sil ve směru osy x , je uvažováno rovnoměrné rozložené zatížení od normálové síly mezi jednotlivé kolíky. Pro stanovení velikosti

normálové síly a síly od gravitačních účinků byl uvažován vliv setrvačných sil způsobených akcelerací robotu.



Obr. 7.54 Rozbor zatížení při uchopení jedné sběrné trubky

Z rozboru zatížení je nyní možné sestavit soustavu rovnic pro rovnováhu v rovině tělesa. Při uvažování symetrie postačí vypočítat pouze reakce v bodech A a B dle rovnic 7.6 – 7.8

$$\sum F_x: R_{Ax} + R_{Bx} - F_{N1} = 0 \tag{7.6}$$

$$\sum F_z: R_{Az} + R_{Bz} - F_g = 0 \tag{7.7}$$

$$\sum M_B: R_{Az} \cdot l_1 + F_g \cdot l_2 + F_{N1} \cdot h = 0 \tag{7.8}$$

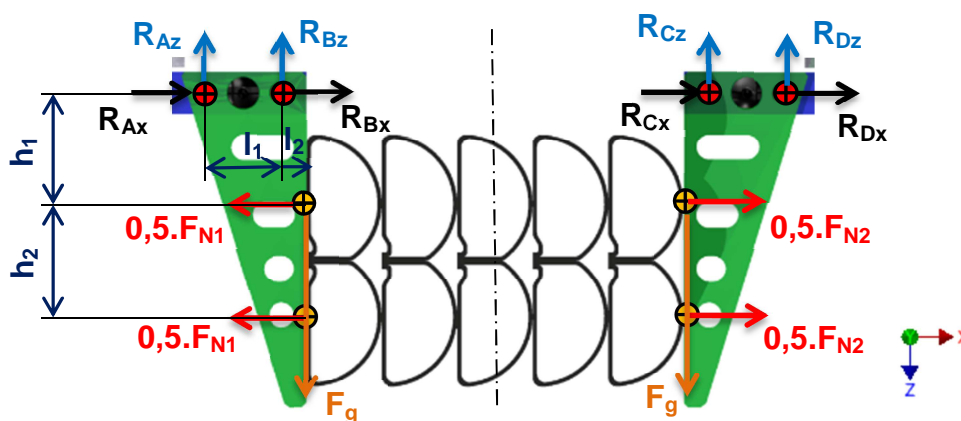
- F_{N1} [N] - Normálová síla ($F_{N1} = F_{Umax} + m_1 \cdot a_r = 126,4N$)
- F_g [N] - Síla od gravitačních účinků ($F_g = m_1 \cdot (g + a_r) = 5N$)
- $R_A; R_B$ [N] - Reakční síly v kolíkových spojích
- $l_{1,2}; h$ [mm] - Vzdálenosti mezi silami ($l_1 = 18mm; l_2 = 6mm; h = 68mm$)
- a_r [mm/s²] - Zrychlení robotu ($a_r = 20 \text{ mm/s}^2$)

Při dosazení do jednotlivých rovnic a s uvažováním výše uvedených předpokladů, byly vyčísleny jednotlivé složky reakcí R_A a R_B (Tab. 7.14), při sevření jedné sběrné trubky.

Složky reakcí R_A a R_B		
R_{Ax}	[N]	63,2
R_{Az}	[N]	- 479,1
R_{Bx}	[N]	63,2
R_{Bz}	[N]	483,9

Tab. 7.14 Hodnoty složek reakcí v kolíkových spojích

Dále bylo nutné provést již zmíněný rozbor zatížení při uchopení pěti sběrných trubek, postup a předpoklady se nijak zvláště neliší od uchopení trubky jedné, pouze normálová síla se rozdělí na půl a změní pozici svého působení a za jednotlivé hmotnosti při výpočtu sil byla dosazena hmotnost nejhmotnější sestavy uchopených sběrných trubek viz Obr. 7.55.



Obr. 7.55 Rozbor zatížení při uchopení pěti sběrných trubek

Z rozboru zatížení byly opět sestaveny rovnice rovnováhy (7.9 – 7.11) pro body A a B, pro které byly vypočteny hodnoty reakcí R_A a R_B (Tab. 7.15)

$$\sum F_x: R_{Ax} + R_{Bx} - 0,5 \cdot F_{N1} - 0,5 \cdot F_{N1} = 0 \tag{7.9}$$

$$\sum F_z: R_{Az} + R_{Bz} - F_g = 0 \tag{7.10}$$

$$\sum M_B: R_{Az} \cdot l_1 + F_g \cdot l_2 + 0,5 \cdot F_{N1} \cdot h_1 + 0,5 \cdot F_{N1} \cdot (h_1 + h_2) = 0 \tag{7.11}$$

F_{N1} [N] - Normálová síla ($F_{N1} = F_{Umax} + m_5 \cdot a_r = 152N$)

F_g [N] - Síla od gravitačních účinků ($F_g = m_5 \cdot (g + a_r) = 24N$)

$R_A; R_B$ [N] - Reakční síly v kolíkových spojích

$l_{1,2}; h_{1,2}$ [mm] - Vzdálenosti mezi silami ($l_1 = 18mm; l_2 = 6mm; h_1 = 21mm; h_2 = 35mm$)

a_r [mm/s²] - Zrychlení robotu ($a_r = 20 \text{ mm/s}^2$)

Složky reakcí R_A a R_B		
R_{Ax}	[N]	76
R_{Az}	[N]	-333,1
R_{Bx}	[N]	76
R_{Bz}	[N]	357,1

Tab. 7.15 Hodnoty složek reakcí v kolíkových spojích

Pro porovnání vlastních silových účinků na kolíkový spoj, resp. na nosné úhelníky úchopných prstů či na samotné prsty, nejlépe poslouží vyčíslení jednotlivých posouvajících sil T_i dle vztahů 7.11 a 7.12

$$T_1 = \max \left\{ \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Az}^2} \mid \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{Bz}^2} \right\} \quad (7.11)$$

$$T_5 = \max \left\{ \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Az}^2} \mid \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{Bz}^2} \right\} \quad (7.12)$$

T_1 [N] - Posouvající síla při uchopení jedné trubky, reakce dle Tab. 7.14

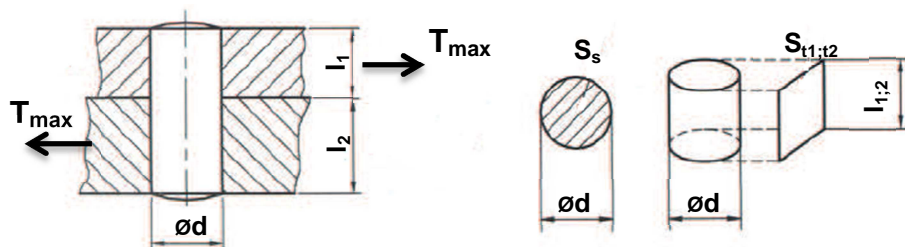
T_5 [N] - Posouvající síla při uchopení pěti trubek, reakce dle Tab. 7.15

Při postupném dosazení reakcí do vztahů pro výpočet posouvajících a jejich následném porovnání byla sestavena Tab. 7.16. Z této Tabulky je patrné, že nejvíce zatížený kolíkový spoj bude v bodě B (resp. C) při uchopení jedné trubky a to silou $T_{max} = 488N$, která bude použita při následné kontrole na smyk a otačení.

Maximální posouvající síla						
T_{A1}	[N]	483,3	T_{1max}	488	T_{max}	488N
T_{B1}	[N]	488				
T_{A5}	[N]	341,7	T_{5max}	365,1		
T_{B5}	[N]	365,1				

Tab. 7.16 Hodnoty maximální posouvající síly

Pro samotnou kontrolu na smyk a otačení byly použity vztahy 7.13 a 7.14 vycházející z Obr. 7.56. Při kontrole na otačení bylo třeba uvažovat dovolený tlak pro dural, ze kterého jsou vyrobeny jak nosné úhelníky pro uchycení prstu, tak samotné úchopné prsty.



Obr. 7.56 Schéma zatížení příčnou silou^[23]

Kontrola otláčení stykových ploch

$$p_{1;2} = \frac{T_{max}}{S_{t1;t2}} = \frac{T_{max}}{d \cdot l_{1;2}} \leq p_D \tag{7.13}$$

- $p_{1;2}$ [MPa] - Tlak v jednotlivých stykových plochách
- $S_{t1;t2}$ [mm²] - Otláčované plochy od čepu
- $d ; l_{1;2}$ [mm] - Rozměrové veličiny ($\varnothing d = 5 \text{ mm} ; l_1 = 10 \text{ mm} ; l_2 = 8 \text{ mm}$)
- p_D [MPa] - Dovolенý tlak pro hliníkové slitiny $p_D = 50 \text{ MPa}$ ^[23]

Kontrola kolíku na stříh

$$\tau = \frac{T_{max}}{S_s} = \frac{4 \cdot T_{max}}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_D \tag{7.14}$$

- τ [MPa] - Smykové napětí na kolíku
- S_s [mm²] - Střížná plocha
- τ_D [MPa] - Dovolенé smykové napětí ocelového kolíku $\tau_D = 150 \text{ MPa}$ ^[23]

Jak je vidět z *Tab. 7.17*, kolíkové spoje v místě největší posouvající síly T_{max} vyhovují jak na otláčení, tak na stříh kolíku. Z toho lze předpokládat, že vyhovují kolíkové spoje na celé úchopné hlavice.

Kontrola kolíkového spoje					
p_1	[MPa]	9,8	p_D	50 MPa	$p_{1;2} \leq p_D$
p_2	[MPa]	12,2			
τ	[MPa]	25,9	τ_D	150 MPa	$\tau \leq \tau_D$

Tab. 7.17 Hodnoty kontroly kolíkového spoje $\varnothing 5 \times 18$ ISO 2338

7.2 Kontrola bezpečnosti uchopení

Při návrhu každého robotického pracoviště je nutné dodržovat maximální bezpečnost uchopení a to zejména tam, kde se v blízkosti robotů pohybují lidé. Pro takovéto případy udává norma ČSN EN ISO 14539 bezpečnost uchopení předmětu při totál stopu robotu $K \geq 4$ pro maximální setrvačné účinky uchopeného předmětu^[15]. Tato bezpečnost se určuje vzhledem k charakteru návrhu minimální úchopné síly (7.4) pro danou úchopnou hlavici.

Zmíněné maximální setrvačné účinky sběrných trubek nastanou při tzv. deceleraci robotu, která je největší právě v případě nouzového zastavení při totál stopu robotu. Tento jev nastane v případě, když má decelerace stejný směr působení jako gravitační zrychlení a oba účinky se tedy sčítají a silové působení je největší.

Samotná bezpečnost uchopení se pak vypočítá dle vztahu (7.15), který je dán výrobcem úchopné hlavice^[18].

Bezpečnost uchopení:

$$K = \frac{F_{U5} \cdot n \cdot \mu_{H-H}}{m_5 \cdot (g + a_D)} \geq 4 \tag{7.15}$$

- $K [-]$ - Bezpečnost uchopení při totál stopu
- $F_{U5} [N]$ - Skutečná úchopná síla pro sestavu pěti trubek
- $n [-]$ - Počet stykových bodů $n = 8$
- $\mu_{H-H} [-]$ - Součinitel smykového tření mezi trubkami $\mu_{H-H} = 0,3$
- $m_5 [kg]$ - Hmotnost sestavy pěti trubek
- $g [m/s^2]$ - Gravitační zrychlení $g \doteq 10 m/s^2$
- $a_D [m/s^2]$ - Decelerace robotu IRB 2600 $a_D = 40 m/s^2$

Po dosazení konstant (n ; μ_{H-H} ; g ; a_D) a proměnných hodnot (F_{U5} ; m_5 – viz Tab. 7.18), závislých na velikosti přenášené trubky, do vztahu 7.15 bylo zjištěno, že navržené uchopení je v souladu s bezpečností dle normy ČSN EN ISO 14539 a úchopné hlavice lze tedy bezpečně užívat bez dalších bezpečnostních opatření zabraňujících samovolnému uvolnění uchopeného předmětu.

Tab. 7.18 ukazuje, že se zvyšující se hmotností klesá bezpečnost uchopení, což je způsobeno zvyšujícími se setrvačnými účinky soustavy trubek. Dále lze z tabulky určit, že při uchopení nejhmotnější sestavy trubek maximální možnou silou je bezpečnost nejmenší, přesto vyhovující výše zmíněné normě.

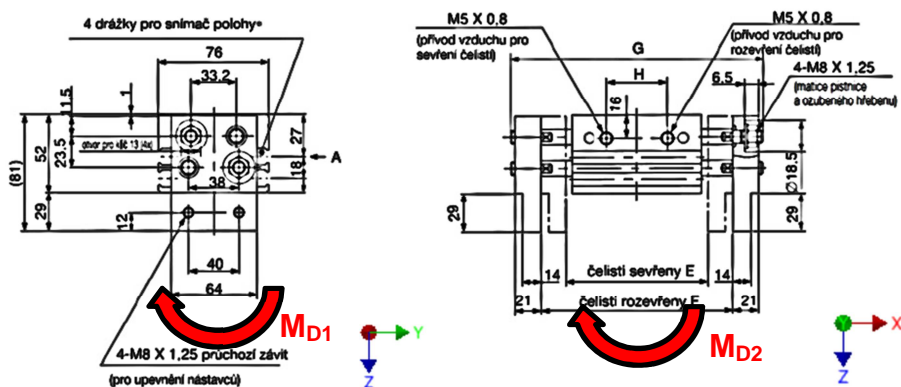
Bezpečnost uchopení											
F_{U5}	[N]	65	70	80	85	90	100	105	110	115	120
m₅	[kg]	0,5	0,6	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
K	[-]	7,8	7	6	5,6	5,4	5	4,8	4,7	4,6	4,5

Tab. 7.18 Proměnné hodnoty výpočtu bezpečnosti uchopení

7.3 Klopné momenty od uchopeného předmětu

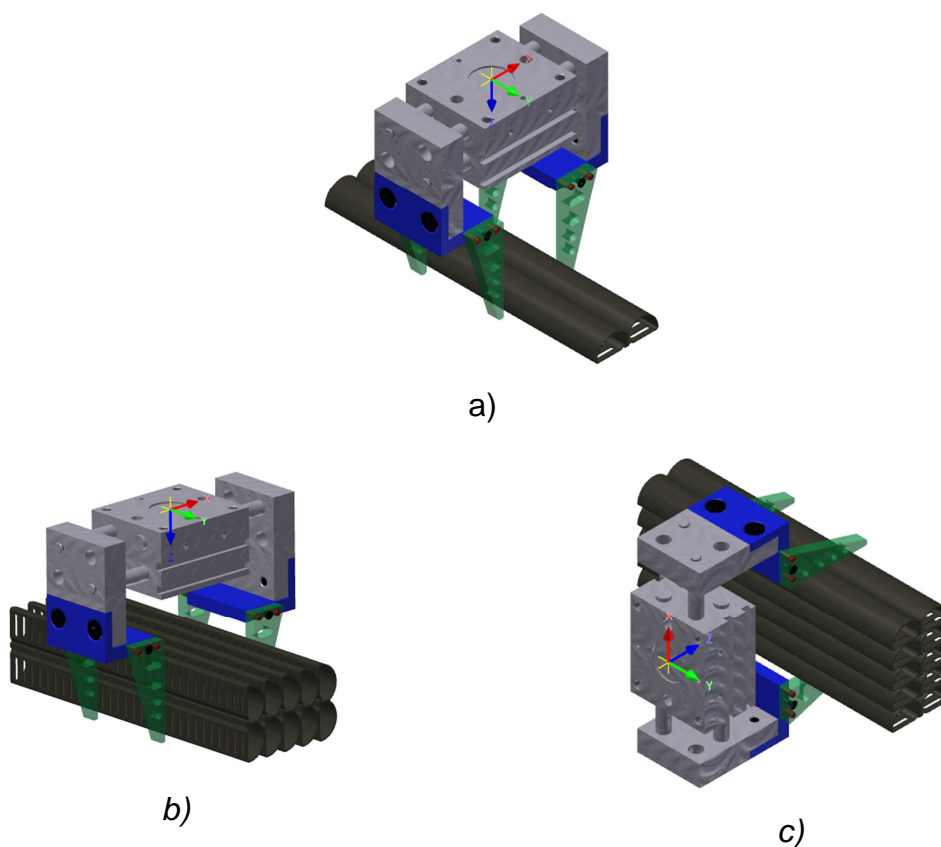
Vzhledem k tomu, že úchopná hlavice je primárně navržena pro pohyb ve vodorovné rovině, při uvažování minimální vzdálenosti těžiště uchopeného předmětu (obvykle se uvažuje uchopení v ose montážních otvorů pro připevnění čelistí hlavice), je nutné kontrolovat zvolenou hlavici na působení klopných momentů, při maximálním zrychlení, resp. zpomalení robotu.

Výrobce úchopné hlavice uvádí maximální dovolené momenty (Obr. 7.57), které nesmí být při provozu hlavice překročeny. Velikost klopných momentů $M_{D1;2}$ je dána velikostí úchopné hlavice. Pro výše zvolenou (kap.6.2) úchopnou hlavici odpovídají dovolené klopné momenty hodnotě $M_{D1} = M_{D2} = 5 \text{ Nm}$ při opakovaném zatěžování.^[18]



Obr. 7.57 Dovolené klopné momenty působící na hlavici během provozu^[18]

Klopné momenty odpovídající reálnému zatížení jsou vypočteny dle vztahů 7.16 a 7.17, odpovídají pro orientaci při manipulaci s jednou trubicou dle výpočtového stavu na Obr. 7.58a.



Obr. 7.58 Orientace úchopné hlavice při jednotlivých výpočtových stavech

Vztahy 7.18 a 7.19 odpovídají stavu při transportu pěti trubek do, resp. z ponorné vany z, resp. do externího zásobníku (Obr. 7.58b) a dále vztahy 7.20 a 7.21 odpovídají otočené úchopné hlavici o 90 stupňů kolem osy y při uchopení, resp. uvolnění trubek v externím zásobníku (Obr. 7.58c).

$$M_{a1} = m_1 \cdot [(g + a_R) \cdot y_{T1} + a_R \cdot z_{T1}] \leq M_{D1} \quad (7.16)$$

$$M_{a2} = m_1 \cdot [(g + a_R) \cdot x_{T1} + a_R \cdot z_{T1}] \leq M_{D2} \quad (7.17)$$

$$M_{b1} = m_5 \cdot [(g + a_R) \cdot y_{T5} + a_R \cdot z_{T5}] \leq M_{D1} \quad (7.18)$$

$$M_{b2} = m_5 \cdot [(g + a_R) \cdot x_{T5} + a_R \cdot z_{T5}] \leq M_{D2} \quad (7.19)$$

$$M_{c1} = m_5 \cdot [(g + a_R) \cdot z_{T5} + a_R \cdot y_{T5}] \leq M_{D1} \quad (7.20)$$

$$M_{c2} = m_5 \cdot [(g + a_R) \cdot z_{T5} + a_R \cdot x_{T5}] \leq M_{D2} \quad (7.21)$$

$M_{1,2}$ [Nm] - Klopný moment působící na hlavici při manipulaci

$M_{D1,2}$ [Nm] - Dovolené klopné momenty na úchopnou hlavici

$m_{1,5}$ [kg] - Hmotnost jedné, resp. pěti trubek ($m_1 = 0,32$; $m_2 = 1,6$ kg)

x_T ; y_T ; z_T [mm] - Vzdálenost těžiště uchopených trubek od uvažovaného středu S.S.

$x_{T1} = 20\text{mm}$; $y_{T1} = x_{T5} = y_{T5} = 0$; $z_{T1} = 125\text{mm}$; $z_{T5} = 80\text{mm}$

g [m/s^2] - Gravitační zrychlení $g \doteq 10 \text{ m/s}^2$

a_R [m/s^2] - akcelerace robotu IRB 2600 $a_D = 20 \text{ m/s}^2$

Jelikož je důsledně dbáno na to, aby se všechny druhy trubek uchopovaly v místě podélného těžiště trubky (osa y), proto je pro výše uvedený výpočet uvažováno pouze s vyložení těžiště v příčné ose trubky (osa x) a to pouze v případě uchopení jedné trubky, kde je vyložení těžiště způsobeno umístěním hrdel pro vstup nebo výstup chladicí kapaliny po jedné straně trubky (viz kap.4.1.3-Obr. 4.24) a dále je uvažováno vyložení v souřadné ose z , které vnáší do rovnic největší moment a to v obou případech uchopení.

Dovolené hodnoty klopných momentů jsou hodnoty uváděné pro opakované zatížení (100 cyklů za min), proto je při výpočtech zátěžných klopných momentů uvažována hodnota akcelerace robotu \underline{a}_R , nikoliv vyšší hodnota decelerace.

Po dosazení do rovnic 7.16 – 7.21, lze z Tab. 7.19 vyčíst, že úchopná hlavice pro danou manipulaci vyhovuje ve všech kontrolovaných stavech. Z rovnice (7.20 a 7.21) pro největší zatížení lze určit maximální možné povolené zrychlení, kterým se může robot pohybovat, aniž by hrozilo poškození uchycení úchopné hlavice. Při vyjádření zrychlení \underline{a}_R ze vztahu 7.21 a dosazení mezních hodnot lze vyčíslit maximální možné

zrychlení $a_{Rmax} = 29 \text{ m/s}^{-2}$, což představuje hodnotu, která by neměla být, z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti úchopné hlavice, překročena. Veškeré uvedené výpočty jsou provedené pouze pro nejnepříznivější stav zatížení, tj. s nejhmotnějšími trubkami, přičemž je pro menší hmotnosti předpokládáno menší zatížení.

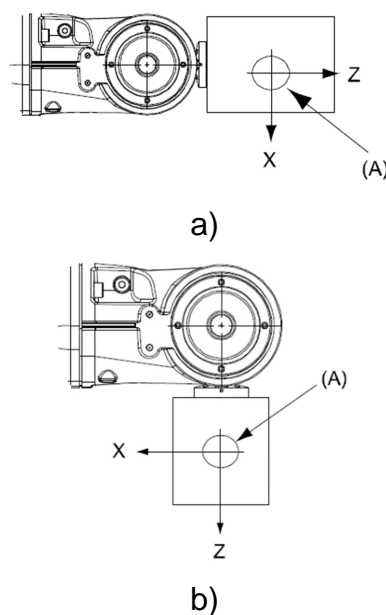
Klopné momenty			
M_{a1}	[Nm]	0,8	$\leq M_{D1;2} = 5 \text{ Nm}$
M_{a2}	[Nm]	1	
M_{b1}	[Nm]	2,6	
M_{b2}	[Nm]	2,6	
M_{c1}	[Nm]	3,8	
M_{c2}	[Nm]	3,8	

Tab. 7.19 Klopné momenty působící na hlavici

7.4 Setrvačné momenty od úchopné hlavice

Stejně jako úchopná hlavice je dimenzována na uchopení předmětu v jeho těžišti, tak i u robot je dimenzován a jeho parametry jsou uváděny pro přímé zatížení koncového bodu robotu tzv. TCP. Z tohoto důvodu je nutné přepočítat setrvačné momenty pro dané zatížení a porovnat je s dovolenými momenty výrobcem.

Výrobce robotů (ABB) udává, že je nutné kontrolovat dva stavy dle Obr. 7.59, kde pro stav a) platí rovnice 7.22 a 7.23. a pro kontrolu stavu b) slouží diagram na Obr. 7.60.

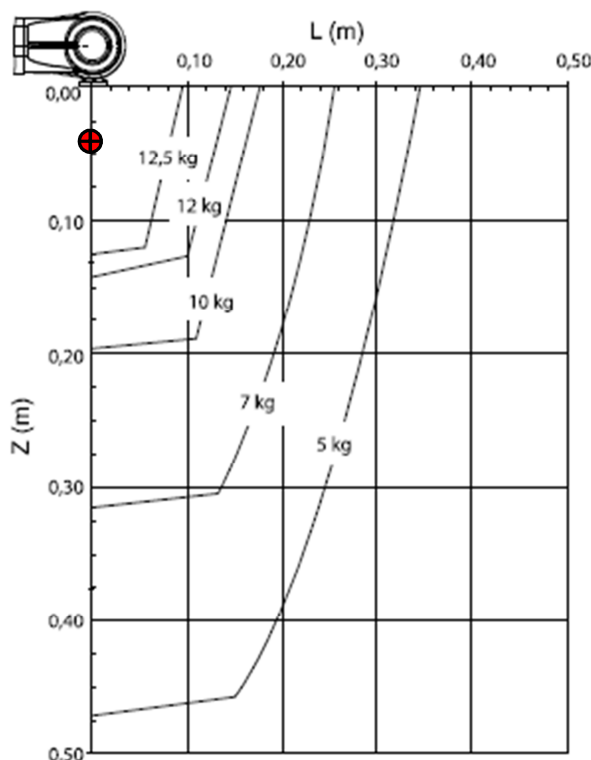


Obr. 7.59 Výpočtové stavy zatížení TCP^[9]

Jelikož těžiště úchopné hlavice s pěti trubkami se od těžiště TCP liší pouze v ose z a v ostatních osách (x a y) leží v jedné rovině společně s TCP, tak se výpočet zjednoduší o $L = \sqrt{x^2 + y^2} = 0$.^[9]

$$J_{a5} = m_{max} \cdot (z^2 + 0,085^2 + L^2) + \max(J_{ox}; J_{oy}) \leq 2 \text{ kgm}^2 \tag{7.22}$$

$$J_{a6} = m_{max} \cdot L^2 + J_{oz} \leq 1 \text{ kgm}^2 \tag{7.23}$$



Obr. 7.60 Zátěžný diagram s uvažováním vyložení těžiště při svislé poloze TCP^[9]

- $J_{a5,6}$ [kgm²] - Zátěžný moment působící na 5, resp. 6 osu robotu
- m_{max} [kg] - Hmotnost plné úchopné hlavice $m_{max} = 3,3$ kg
- $x; y; z$ [mm] - Vzdálenost těžiště úchopné hlavice s trubkami od TCP $x = y = 0; z = 60$ mm
- $J_{ox,y,z}$ [kgm²] - Momenty setrvačnosti úchopné hlavice vzhledem k ose otáčení
- $J_{ox} = 0,053$ kgm²; $J_{oy} = 0,055$ kgm²; $J_{oz} = 0,054$ kgm² – získáno pomocí programu inventor

Jak ukazuje Tab. 7.20 a diagram na Obr. 7.60, oba stavy a obě osy vyhovují a robot není nijak přetížen.

Setrvačné momenty			
J_{a5}	kgm ²	0,28	≤ 2 kgm ²
J_{a6}	kgm ²	0,06	≤ 1 kgm ²

Tab. 7.20 Setrvačné momenty působící na koncové osy robotu

7.5 Kontrola času pracovních cyklů

Poslední velmi důležitou kontrolou je kontrola jednotlivých času pracovních cyklů, aby bylo zjištěno, zda zvolený průmyslový robot a úchopná hlavice jsou schopny dodržet nejkratší takt linky pro nejmenší sběrnou trubku, který je dán rychlostí dopravníku odmašťovací části linky $v_{max} = 2,5 \text{ m/min}$ a při konstantní rozteči přípravků trubek $r_p = 30 \text{ mm}$, je roven $t_L = 7,2 \text{ s}$.

Jak je uvedeno v *kap. 6.1*, i zde lze zjednodušeně říci, že doba zrychlení robotu na maximální rychlost je $t_{vmax} = 0,1 \text{ s}$, což při uvažovaném zrychlení TCP $a_R = 20 \text{ m/s}^2$ představuje dráhu $s_{vmax} = 0,1 \text{ m}$, na které robot dosáhne své maximální rychlosti $v_{max} = 2 \text{ m/s}$. Z těchto parametrů pohybu a znalosti přibližné délky trajektorií lze, pomocí jednoduchého vztahu 7.24, určit časy jednotlivých pohybů nutných pro transport trubek.

$$t_i = \frac{s_i}{v_{max}} + 2 \cdot t_{vmax} \tag{7.24}$$

- $t_i [s]$ - Čas trvání transportu
- $s_i [m]$ - Dráha přejezdu s konstantní rychlostí $s_i = \text{celková dráha} - \text{dráha při zrychlení}$
- $v_{max} [m/s]$ - Maximální rychlost manipulace $v_{max} = 2 \text{ m/s}$
- $t_{vmax} [s]$ - Čas dosažení maximální rychlosti $t_{vmax} = 0,1 \text{ s}$;

Při uvažování výše určené rychlosti sevření čelistí hlavice $v_s = 0,3 \text{ m/s}$ (*kap. 7.1*), lze dále říci, že čas potřebný pro samotné uchopení trubky je roven $t_U = 0,2 \text{ s}$, neboť zdvih hlavice je $h = 60 \text{ mm}$.

Plnění externího zásobníku		
Zpomalení a synchronizace pohybu	[s]	0,5
Uchopení trubky	[s]	0,2
Zrychlení a opuštění prostoru linky	[s]	0,4
Přejezd linka => externí zásobník	[s]	0,7
Zpomalení a umístění trubky do zásobníku	[s]	0,4
Uvolnění trubky	[s]	0,2
Zrychlení a opuštění zásobníku	[s]	0,4
Přejezd zásobník => linka	[s]	0,7
Celkem	[s]	3,5

Tab. 7.21 Sumace jednotlivých časů - cyklus plnění zásobníku

Z výše uvedených parametrů a ze znalosti pohybů při jednotlivých cyklech, byly sestaveny *Tab. 7.21* a *Tab. 7.22.*, pomocí kterých byly stanoveny celkové časy jednotlivých manipulací.

Přemístění pěti trubek do ponorné vany a návrat na začátek cyklu linky		
Přejezd a otočení úchopné hlavice o 90°	[s]	0,5
Uchopení trubek	[s]	0,2
Zrychlení a opuštění zásobníku	[s]	0,4
Přejezd zásobník => ponorná vana	[s]	0,6
Zpomalení a synchronizace pohybu	[s]	0,5
Uvolnění trubek	[s]	0,2
Zrychlení a opuštění prostoru vany	[s]	0,4
Přejezd vana => linka	[s]	0,4
Celkem	[s]	3,2

Tab. 7.22 Sumace jednotlivých časů – cyklus ponorné vany

Pro splnění kompletního pracovního cyklu, tzn. umístění pěti sběrných trubek do externího zásobníku, jejich uchopení, přemístění do ponorné vany a následné vrácení se nad dopravník odmašťovací části linky, je dán konstantní čas v závislosti na rychlosti dopravníku, $t_{Tmax} = 36$ s (pět trubek s intervalem 7,2 s). Ale jak vyplývá z *Tab. 7.23*, tak při zvolených parametrech, robot zvládne kompletní pracovní cyklus za celkový čas $t_{CR} = 19,6$ s z čehož je jasné, že je manipulační proces navržen správně a robot nebude mít problém pracovní cyklus linky zvládat.

Kompletní pracovní cyklus prvního robotu		
Postupné umístění čtyř trubek do externího zásobníku	[s]	14
Umístění páté trubky do externího zásobníku bez návratu nad dopravník linky	[s]	2,4
Přemístění pěti trubek do ponorné vany a návrat na začátek cyklu linky	[s]	3,2
Celkem	[s]	19,6

Tab. 7.23 Sumace kompletních časů pracovního cyklu

Pokud by bylo možné technologicky zrychlit takt celé linky, tak z výpočtu kompletního pracovního cyklu robotu v *Tab. 7.23* vyplývá, že je možné pracovní

cyklus linky snížit na $t_{Tmax} = 20$ s, tj. i interval na jednu trubku na $t_L = 4$ s, což představuje zvýšení celkové produktivity pracoviště o 44 %.

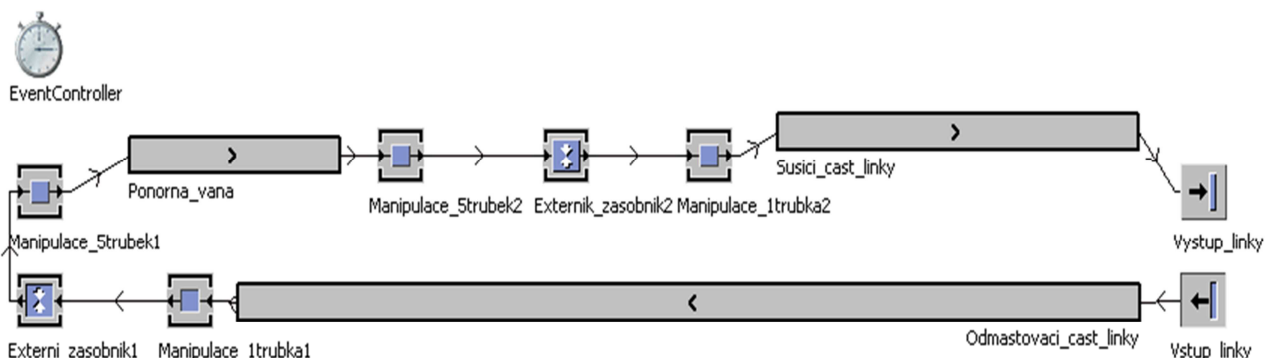
7.6 Produktivita navrženého pracoviště

Jak je výše popsáno, pracoviště pracuje s konstantním časem pracovního cyklu, který je závislý na velikosti a typu zpracovávané trubky a je zejména odvozen od rychlosti vstupního dopravníku odmašťovací části linky. Díky tomuto lze říci, že pro známou rychlost dopravníku $v_D = 1 - 2,5$ m/min se časy rozestupů trubek pohybují v rozmezí od 7,2 s do 18 s, z čehož lze určit teoretickou produktivitu tohoto pracoviště, a to dle vztahu 7.25.

$$P_P = \frac{1}{t_L} \cdot K_R \cdot 3600 \tag{7.25}$$

- P_P [ks/rok] - Produktivita pracoviště
- t_L [s] - Časový rozestup trubek $t_L = 7,2 - 18s$
- K_R [hod] - Roční kapacita pracoviště $K_R = 5000$ hod

Pomocí tohoto vztahu, byla zjištěna teoretická produktivita pracoviště v rozmezí $P_P = 1 - 2,5$ mil. ks/ rok, dle velikosti zpracovávané trubky. Jelikož jsou tyto hodnoty vyčísleny pro ideální chod pracoviště, bylo nutné vytvořit simulační model pomocí softwaru Plant simulation. Do tohoto modelu bylo zahrnuto více vstupních veličin, které ovlivňují celkovou produktivitu pracoviště, jedná se především o nutnou údržbu během provozu linky, doplnění kalafuny v ponorné vaně, pravděpodobnost poruchy atd.



Obr. 7.61 Simulační mode roční produktivity linky DipFluxer

Po provedení simulace byla zjištěna předpokládaná roční produktivita reálného pracoviště 0,915 – 2,29 mil. ks/ rok, což představuje propad produktivity způsobenými

rušivými parametry o cca 8,5 %, oproti teoretickému výpočtu. V simulačním modelu není zahrnut čas nutný pro změnu velikosti trubky, neboť není znám počet druhů a velikosti ročních výrobních kapacit pro jednotlivé velikosti trubek, tudíž jsou hodnoty produktivity linky určeny pro nepřetržité zpracovávání pouze jednoho typu trubky.

7.7 Ekonomické hodnocení

Aby bylo možné provést konečné ekonomické zhodnocení navrženého projektu, bylo nutné nejprve vypracovat předběžnou kalkulaci realizačních nákladů (Tab. 7.24), které byly stanoveny na hodnotu 3,31 mil. CZK

Komponenta	Výrobce	Cena
Průmyslové roboty + řídicí systém	ABB	2200000
Úchopné hlavice	SMC	62000
Pneumatické ovládací prvky	SMC	28000
Kontrolní kamera	COGNEX	60000
IRC 325	LARM	51000
Nosný rám kamery	ALUTEC K&K	41000
Externí zásobník	ALUTEC K&K	28000
Bezpečnostní prvky	TROAX + EUCHNER	295000
Úprava linky DipFluxer	-	445000
Ostatní náklady	-	100000
Celkem	[CZK]	3310000

Tab. 7.24 Kalkulace realizačních nákladů

Posouzení ekonomické návratnosti bylo provedeno pomocí čisté současné hodnoty (NPV) dle vztahu 7.26, která vychází z peněžního toku (cash flow) a diskontní sazby pro pětileté odpisové období, [27]

$$NPV = \sum_{n=0}^5 \frac{CF_n}{(1+r)^n} = \sum_{n=0}^5 \frac{(1-TR) \cdot P_n + (1+TR) \cdot D_n}{(1+r)^n} \quad (7.26)$$

- NPV [CZK] - Čistá současná hodnota investice
- CF_n [CZK] - Cash flow v daném roce
- n [rok] - Doba odpisu investice (n = 5)
- r [-] - Diskontní sazba (r = 10%)
- TR [-] - Daň z příjmu právnických osob (TR = 19%)
- P_n [CZK] - Úspora v daném roce provozu
- D_n [CZK] - Odpis v daném roce provozu

Pro přehledná čtení peněžního toku byla sestavena *Tab. 7.25*, ze které lze snad vyčíst dobu návratnosti investice, která činí přibližně 1,25 roku a uvažované diskontní sazbě $r = 10\%$. Při předpokládaném bezporuchovém chodu pěti let, lze s jistotou říci, že realizace projektu bude pro podnik přínosná.

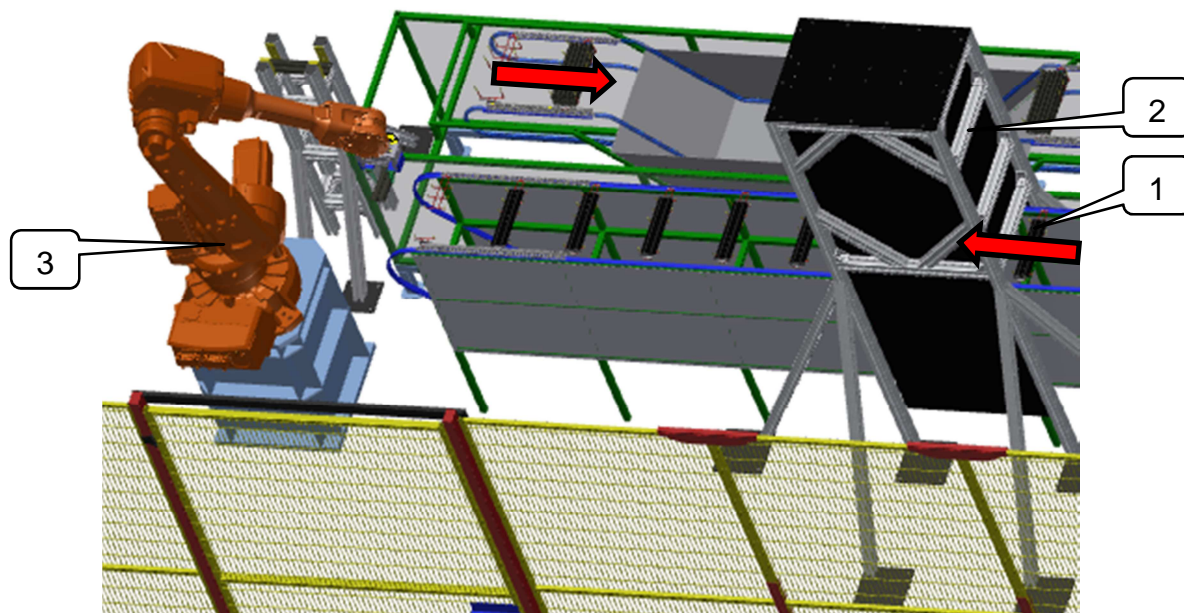
n [rok]	Investice	1	2	3	4	5
P_n [CZK]	0	2 300 000	2 300 000	2 300 000	2 300 000	2 300 000
D_n [CZK]	0	662 000	662 000	662 000	662 000	662 000
CF_n [CZK]	-3 310 000	2 650 780	2 650 780	2 650 780	2 650 780	2 650 780
NPV [CZK]	-3 310 000	-900 200	1 290 527	3 282 098	5 092 616	6 738 542

Tab. 7.25 Průběh čisté současné hodnoty v pěti letech

Poz.: Veškeré ceny použité v této kapitole jsou pouze informativní, ceny jednotlivých komponent byly poptány pouze telefonicky nebo zjištění konzultační formou.

8 Finální popis činnosti pracoviště

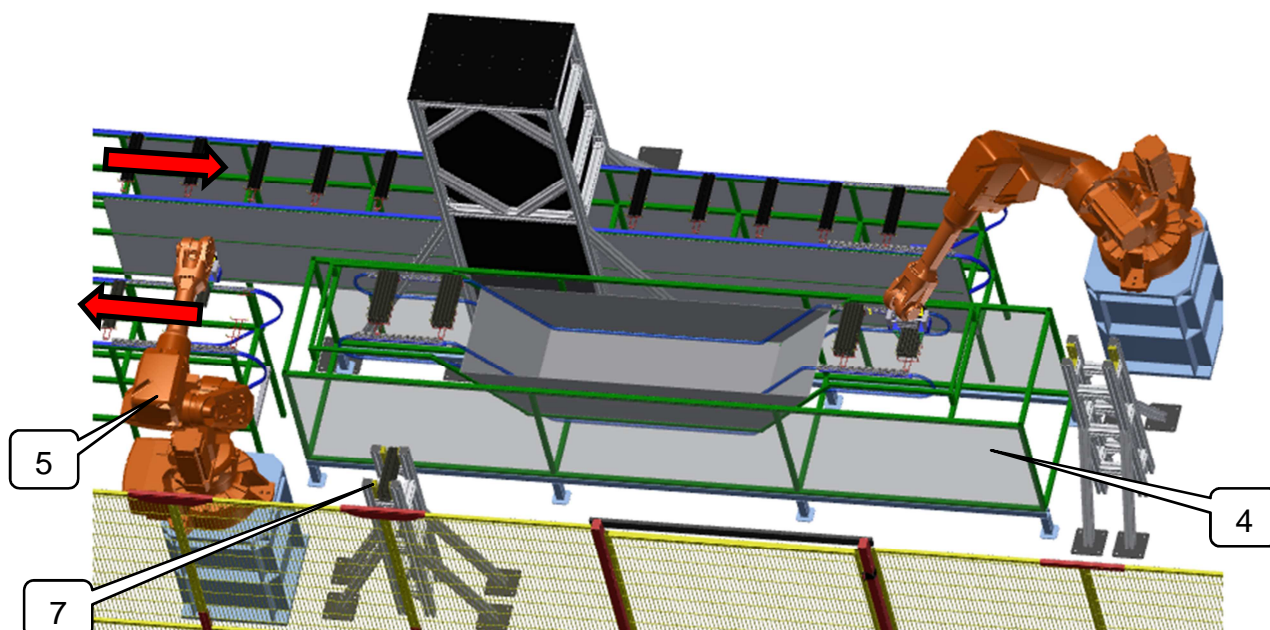
V následující kapitole bude popsán tok sběrných trubek robotickým pracovištěm od vstupu první trubky až po její výstup z pracoviště



Obr. 8.62 Vstupní kamerová kontrola a současné odebírání trubky

Sběrné trubky vstupující do pracoviště (poz.1) na kontinuálním vstupním řetězovém dopravníku jsou kontrolovány kamerovým senzorem, který dává řídicímu systému informaci o přesné poloze trubek v základacích přípravcích (Obr. 8.62). Po průchodu pod kamerou (poz.2) má robot informaci jak o poloze základacího přípravku, kterou zajistí rotační enkoder na pohonné hřídeli dopravníku, tak o přesné poloze trubky v daném přípravku, čímž je zajištěno bezpečné uchopení. Po získání těchto informací dává řídicí systém povel prvnímu robotu (poz.3), který zahájí pracovní cyklus plnění zásobníku (Tab. 7.21). Robot nepracuje s konstantní polohou uchopení trubky, ale pracuje v celém svém rozsahu tak, aby byla zajištěna časová rezerva pro následný pracovní cyklus přenosu pěti trubek do ponorné vany (Tab. 7.22).

Správnou spolupráci robotu s ponornou vanou zajistí řídicí systém na základě signálu z rotačního encoderu na pohonné hřídeli dopravníku ponorné vany.



Obr. 8.63 Obsluha ponorné vany

Po průchodu sběrných trubek ponornou vanou (poz.4) je uchopí druhý robot (poz.5), opět na základě zmiňovaného encoderu a přemístí je do prázdného externího zásobníku(poz.6). Z tohoto zásobníku jsou trubky postupně, po jedné trubce, přemísťovány na zpětný výstupní řetězový dopravník sušící části linky (poz.7), jehož pohyb je opět monitorován rotačním encoderem (Obr. 8.63).

Vstup a výstup celé linky je obsluhován vyškolenými operátory, kteří mají za úkol jednat vkládat, resp. vykládat sběrné trubky z přípravků řetězových dopravníku, ale také mají za úkol vstupní a výstupní kontrolu zpracovávaných trubek. Výstupní kontrola spočívá především ve vizuální kontrole správného nanesení kalafuny v ponorné vaně a její následné vytvrzení. Pokud by tento proces nebyl proveden správně, např. vinou špatné orientace trubky v úložném přípravku (kap.4; Obr. 4.19), bude trubka vyřazena, kalafuna chemicky odstraněna a celý proces je nutné opakovat.

9 Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem technologického robotického pracoviště, které má být zakomponováno do linky na zpracování sběrných trubek.

Úvodní část práce je zaměřena na problematiku návrhu obecného technologického pracoviště, které se týká především kinematických struktur robotů, různých typů a konstrukcí úchopných hlavic, problematikou navigace robotu pomocí kamerového vidění a závěrem řešerše je v současnosti velmi důležitá problematika bezpečnosti na robotických pracovištích.

Další kapitola popisuje kompletní linku na zpracování sběrných trubek, a to od současného stavu bez robotické automatizace, po přípravné úpravy linky před samotnou robotizací až po požadovaný stav linky od zadavatele. Na základě požadavků zákazníka byly určeny okrajové podmínky, pomocí kterých byly vypracovány vhodné možnosti řešení dané problému. Tyto navržené varianty byly prezentovány u koncového zákazníka, na základě této prezentace byla zvolena varianta robotického pracoviště naváděného jednoduchým kamerovým systémem a inkrementálními rotačními čidly na pohonných hřídelích jednotlivých dopravníků, neboť toto řešení nejlépe zapadalo do zákaznickových požadavků.

Další část práce byla zaměřená na konkretizaci jednotlivých částí pracoviště, kde byla věnována největší pozornost především volbě samotných robotů, úchopné hlavice a navigačních prvků, neboť tyto části jsou přímo závislé na spolehlivosti navrženého pracoviště. Dále pak na bezpečnostní systém, kde bylo především důležité zvolit takové prvky, zejména oplocení tak, aby bylo schopné bezpečně pohltit energii robotu a nebyl nikdo ohrožen na zdraví.

Výpočtová část byla zaměřena na bezpečnost uchopení sběrných trubek, jak z pohledu poškození samotné trubky při uchopení, na což byl proveden experiment a výpočet omezující bezpečnou úchopnou sílu, tak z pohledu bezpečnosti uchopení při totál stopu robotu. Dále byly provedeny kontroly setrvačných momentů působících na úchopnou hlavici od uchopených trubek a setrvačných momentů působících na koncové osy robotu. Obě tyto kontroly jsou předepsány v katalogových listech výrobců. Při kontrole časů pracovních cyklů bylo zjištěno, že pracoviště by mělo být schopné takt samotné linky bez problémů zvládat a navíc je navržené tak, aby bylo

schopné zvládnout i případné zrychlení technologie zpracování sběrných trubek. Závěrem této kapitoly bylo provedeno ekonomické zhodnocení navrženého projektu, ze kterého je jasné, že projekt je pro zákazníka výhodný a investice by se měla do 1,25 roku vrátit.

Před samotným zařazením robotického pracoviště do výrobní linky je nutno ověřit jeho funkci, jednak v simulačním programu RobotStudio a také ověřit správnost funkce naváděcího systému na pohybující se dopravníky.

Dalším potenciálním zvýšením efektivity a robotizace pracoviště je zařazení robotů na vstup a výstup z celé linky, s implementací optické vstupní a výstupní kontroly, což by kompletně odstranilo náročnou lidskou práci spojenou s vysokými teplotami a prašným prostředím.

10 Seznamy

10.1 Seznam použité literatury

[1] KÁRNÍK, L.: RTP – Navrhování a praktické aplikace. Ostrava: VŠB, 2012. ISBN 978-80-248-2725-4

[2] KOLÁŘ, Bc. Martin.: Návrh robotického pracoviště pro potisk pryžových hadic. Praha 2014. Diplomová práce. ČVUT

[3] ANDRLÍK, Vladimír a kol.: Průmyslové roboty a manipulátory. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení. 2013, 236s.

[4] TALÁCKO, J., MATIČKA, R.: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů, ČVUT, Praha, 1995

[5] TALÁCKO, J.: Automatizace výrobních strojů a zařízení, ČVUT, Praha, 2000

[6] RUMÍŠEK, Pavel. Automatizace : Roboty a manipulátory [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 31s, [cit. 2014-10-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/oporysoubory/mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf

[7] SCHUNK. Spann und Greifsysteme [online]. [cit. 2014-10-15] Dostupné z: <http://www.cz.schunk.com>

[8] Vision systems desing [online]. [cit. 2014-10-20] Dostupné z : <http://www.vision-systems.com/index.html>

[9] ABB [online]. 2014 [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: <http://www.abb.com/product/cz/9aac910011.aspx>

[10] KALOVÁ,I., HORÁK,K.: Optické metody pro měření 3D objektů. Elektrorevue [online]. 2005 [cit. 2014-10-29]. Dostupné z : <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html>

[11] Odborné časopisy [online]. 2008 [cit. 2014-10-31] Dostupné z : <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36550.pdf>

- [12] DATALOGIC [online]. 2014 [cit. 2014-11-1]. Dostupné z: <http://www.datalogic.com/eng/products/industrial-automation/machine-vision-pc-16.html>
- [13] COGNEX [online]. 2014 [cit. 2014-11-1]. Dostupné z: <http://www.cognex.com/products/machine-vision/>
- [14] TROAX. Řešení ochrany strojů pro automatizaci a robotizaci [online]. 2014 [cit. 2014-11-3]. Dostupné z: <http://www.troax.com/cs/automation-and-robotics>
- [15] HW server [online]. 2014 [cit. 2014-11-4]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- [16] SICK. Senzor inteligence 2014 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://www.sick.com/cz/cscs/home/products/product_portfolio/Pages/product_overview.aspx
- [17] CONTRA Praha [online]. 2014 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: http://www.contra.cz/cz/retezy_tsubaki/s_unaseci/bs_unasecove_retezy/bs_unasec.html
- [18] SMC Industrial Automation CZ [online]. 2015 [cit. 2015-2-5]. Dostupné z: <https://content2.smcetech.com/pdf/mhf.pdf>
- [19] FESTO s.r.o. CZ [online]. 2015 [cit. 2015-2-10]. Dostupné z : http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGPL_CZ.PDF
- [20] A-KOMERCE s.r.o. CZ [online]. 2015 [cit. 2015-2-15]. Dostupné z : http://www.adhesive.cz/anaerobni_lepidla.htm
- [21] SMC training EU [online]. 2015 [cit. 2015-2-15]. Dostupné z : https://s3-us-west-2.amazonaws.com/smciketec/CATALOGOS/PNEUTRAINER-200_EN.pdf
- [22] ELERT Glenn. Physics Fastbook: Coefficients of Friction for Steel [online]. New York:2008 [cit. 2015-2-25]. Dostupné z : <http://hypertextbook.com/facts/2008/steel.shtml>
- [23] E-konstruktor [online]. 2015 [cit. 2015-3-20]. Dostupné z : <http://e-konstruktor.cz/novinky/bezpecnost-stroju>
- [24] ALUTEC K&K, a.s.[®] [online]. 2015 [cit. 2015-4-10]. Dostupné z : <http://www.aluteckk.cz/>

[25] LARM a.s. [online]. 2010 [cit. 2015-4-25]. Dostupné z :
http://www.larm.cz/pages/os_is_rotacni.html

[26] EUCHNER electric s.r.o. [online] 2010 [cit. 2015-4-25]. Dostupné z :
<http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/>

[27] SCHOLLEOVÁ, Hana.: Ekonomické a finanční řízení pro neekonomy.
 2. Vyd. Praha : Grada, 2011

10.2 Seznam Obrázků:

Obr. 3.1 <i>Příklad jedné z mnoha variant sběrných trubek^[9]</i>	13
Obr. 3.2 <i>Příklad robotu se sériovou kinematickou strukturou společnosti ABB^[9]</i>	15
Obr. 3.3 <i>Příklad robotu s paralelní kinematickou strukturou společnosti ABB^[9]</i>	16
Obr. 3.4 <i>Sériově vyráběné hlavice: a) pneumatická; b) hydraulická; c) elektronická^[7]</i>	18
Obr. 3.5 <i>Mechanismy transformačních bloků^[3]</i>	19
Obr. 3.6 <i>Příklad využití porovnávacího principu s vyznačením orientace a polohy šroubení s využitím detekce hran^[8]</i>	20
Obr. 3.7 <i>Vznik stinných míst u 2D triangulace^[10]</i>	23
Obr. 3.8 <i>Ukázka kamerové techniky firmy DATALOGIC^[12]</i>	23
Obr. 3.9 <i>Vlevo příklad kamery pro všeobecné průmyslové použití, vpravo kamera DS1000 obě značky COGNEX^[13]</i>	24
Obr. 3.10 <i>Vzdálenosti bezpečnostních prvků od pracovního prostoru^[15]</i>	24
Obr. 3.11 <i>Modulární systém bezpečnostního oplocení fi TROAX^[14]</i>	25
Obr. 3.12 <i>Bezpečnostní dveřní systém^[14]</i>	25
Obr. 3.13 <i>Použití vodorovných vícepaprskových optických závor v balící lince^[15]</i>	26
Obr. 3.14 <i>Ukázka použití optických závor při nutnosti vstupu obsluhy do pracovního prostoru^[15]</i>	27
Obr. 3.15 <i>Minimální bezpečná vzdálenost S dle normy ČSN EN ISO 13855^[15]</i>	28
Obr. 3.16 <i>Bezpečnostní relé ABB^[9]</i>	29
Obr. 3.17 <i>Programovatelný bezpečnostní kontroler ABB^[9]</i>	30
Obr. 4.18 <i>Současný stav linky DipFluxer – zjednodušený model</i>	31
Obr. 4.19 <i>Orientace sběrných trubek na pásu dopravníku</i>	32

Obr. 4.20 Skládání sběrných trubek do unašečů ponorné vany	33
Obr. 4.21 Unášecí článkový řetěz CONTRA ^[17]	34
Obr. 4.22 Prvotní návrh úprav linky DipFluxer	34
Obr. 4.23 Požadovaná automatizace linky DipFluxer ^[9]	35
Obr. 4.24 Příklad jedné z variant sběrných trubek	36
Obr. 4.25 Výstup z odmaštění (1) – transport – vstup do ponorné vany (2)	37
Obr. 4.26 Výstup z ponorné vany (1) – transport – vstup do linky pro sušení (2)	37
Obr. 5.27 Blokové schéma pracoviště	39
Obr. 5.28 Robotické pracoviště naváděné kamerovým systémem	40
Obr. 5.29 Návrh multifunkční hlavice	41
Obr. 5.30 Robotické pracoviště s pevnými drahami	42
Obr. 5.31 Úchopná hlavice SMC	43
Obr. 5.32 Uchopená pěti trubek v zásobníku	43
Obr. 6.33 Rozsah manipulace robotu IRB 2600-12/1,65 ^[9]	47
Obr. 6.34 Vhodné působíště úchopné síly	49
Obr. 6.35 Paralelní úchopná hlavice MHL2 – 25D ^[18]	51
Obr. 6.36 Konstrukce úchopné hlavice MHL2 – 25D ^[18]	52
Obr. 6.37 Úchopná hlavice osazena svěrnými prsty	53
Obr. 6.38 Pneumatický obvod řízení úchopné hlavice MHL2-25D	54
Obr. 6.39 Připojovací interface úchopné hlavice ^[18]	56
Obr. 6.40 Koncová příruba robotu IRB 2600-12/1,65 ^[9]	56
Obr. 6.41 Mezičlánek pro připojení úchopné hlavice k robotu	57
Obr. 6.42 Externí zásobní sběrných trubek	58
Obr. 6.43 Proměnný rozměr výstelky	58
Obr. 6.44 Kontrolní kamera Checker COGNEX ^[13]	59
Obr. 6.45 Zakrytovaný nosný rám kamery	60
Obr. 6.46 Inkrementální rotační čidlo LARM ^[25]	61
Obr. 6.47 Modulární bezpečnostní oplocení Troax ^[14]	62
Obr. 6.48 Tlačítko centrální stop ES-FB2NC a bezpečnostní relé ESM-BA7 - EUCHNER ^[26]	63
Obr. 6.49 Finální rozložení robotického pracoviště	63
Obr. 7.50 Pneumatické schéma zatěžovacího zařízení	64
Obr. 7.51 Finální zapojení experimentálního zařízení (fotografie)	66
Obr. 7.52 Výpočtové schéma k určení minimální úchopné síly	68

Obr. 7.53 Závíslost tlaku na hmotnosti břemene	70
Obr. 7.54 Rozbor zatížení při uchopení jedné sběrné trubky.....	71
Obr. 7.55 Rozbor zatížení při uchopení pěti sběrných trubek.....	72
Obr. 7.56 Schéma zatížení příčnou silou ^[23]	73
Obr. 7.57 Dovolené klopné momenty působící na hlavici během provozu ^[18]	76
Obr. 7.58 Orientace úchopné hlavice při jednotlivých výpočtových stavech.....	76
Obr. 7.59 Výpočtové stavy zatížení TCP ^[9]	78
Obr. 7.60 Zátěžný diagram s uvažováním vyložení těžiště při svislé poloze TCP ^[9] .	79
Obr. 7.61 Simulační mode roční produktivity linky DipFluxer.....	82
Obr. 8.62 Vstupní kamerová kontrola a současné odebírání trubky.....	85
Obr. 8.63 Obsluha ponorné vany.....	86

10.3 Seznam Tabulek

Tab. 4.1 Rozsah rozměrových a hmotnostních parametrů sběrných trubek.....	36
Tab. 6.2 Požadované parametry robotu	46
Tab. 6.3 Parametry vybraných robotů ABB ^[9]	46
Tab. 6.4 Dovolené úchopné síly	50
Tab. 6.5 Požadované parametry úchopné hlavice.....	51
Tab. 6.6 Parametry vhodných úchopných hlavic ^{[18];[19]}	51
Tab. 6.7 Maximální tlak a průtok v obvodu	54
Tab. 6.8 Specifikace prvků pneumatického obvodu úchopné hlavice.....	55
Tab. 7.9 Specifikace pneumatický prvků v experimentu ^[21]	65
Tab. 7.10 Experiment při statickém zatěžování.....	66
Tab. 7.11 Experiment pro dynamické zatěžování.....	67
Tab. 7.12 Minimální velikost úchopní síly F_u v závislosti na hmotnosti trubky.....	69
Tab. 7.13 Potřebné tlaky pro jednotlivé sestavy trubek	70
Tab. 7.14 Hodnoty složek reakcí v kolíkových spojích	71
Tab. 7.15 Hodnoty složek reakcí v kolíkových spojích	72
Tab. 7.16 Hodnoty maximální posouvající síly	73
Tab. 7.17 Hodnoty kontroly kolíkového spoje $\varnothing 5 \times 18$ ISO 2338	74
Tab. 7.18 Proměnné hodnoty výpočtu bezpečnosti uchopení	75
Tab. 7.19 Klopné momenty působící na hlavici	78
Tab. 7.20 Setrvačné momenty působící na koncové osy robotu	79
Tab. 7.21 Sumace jednotlivých časů - cyklus plnění zásobníku	80

Tab. 7.22 <i>Sumace jednotlivých časů – cyklus ponorné vany</i>	81
Tab. 7.23 <i>Sumace kompletních časů pracovního cyklu</i>	81
Tab. 7.24 <i>Kalkulace realizačních nákladů</i>	83
Tab. 7.25 <i>Průběh čisté současné hodnoty v pěti letech</i>	84

10.4 Seznam příloh

- A) Technická dokumentace
 - Výkresová dokumentace navrženého pracoviště
- B) Elektronické přílohy na CD
 - 3D model a výkresová dokumentace navrženého pracoviště (.stp; .pdf)
 - Výpočtová dokumentace (.xlsx; .spp)
 - Katalogové listy použitých komponent

10.5 Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Fusion 2013
- Autodesk Inventor professional 2013
- MS office 2013
- SIEMENS Plant Simulation 11
- SMC PneuDraw
- The Gimp 2.8.10
- RobotStudio 5.61