



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU PRO VÝROBU
KABELOVÝCH BUBNŮ**

DESIGN OF A ROBOTIC END EFFECTOR FOR CABLE DRUMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Sýkora

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Dominik Sýkora**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh koncového efektoru pro výrobu kabelových bubnů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na návrh koncového efektoru průmyslového robotu pro výrobu kabelových bubnů z dřevěné překližky.

Cíle bakalářské práce:

Analýza aktuálních možností pro uchopování objektů průmyslovým robotem.
Návrh koncového efektoru pro výrobu kabelových bubnů.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B., KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R., SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem konstrukce koncového efektoru. Jsou v ní zpracovány základní informace a popisy funkcí úchopných prvků. Dále je v práci zpracován samotný konstrukční návrh koncových efektorů pro výrobu kabelových bubnů. Návrh zahrnuje výběr vhodných uchopovacích prvků podložený výpočty. Práce také obsahuje možný návrh robotického pracoviště a výběr vhodného průmyslového robotu pro koncový efektor.

ABSTRACT

This work is concerned with proposal of construction of end effector. There are processed main information and descriptions of functions of grip elements. Further is in this work processed construction proposal of end effectors for production of cable drums. This proposal includes choice of suitable grip elements based on calculations. This work also includes possible proposal of robotic workplace and choice of industrial robot for end effector.

KLÍČOVÁ SLOVA

Koncový efektor, uchopovací hlavice, průmyslový robot, kabelový buben.

KEYWORDS

End effector, gripper, industrial robot, cable drum.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SÝKORA, D. Návrh koncového efektoru pro výrobu kabelových bubnů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení, rady a připomínky při zpracování bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25.5.2018

.....

Sýkora Dominik

OBSAH

ÚVOD...	15
1 MOTIVACE.....	17
2 MOŽNOSTI UCHOPOVÁNÍ OBJEKTŮ PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM....	19
2.1 Mechanické úchopné prvky	20
2.1.1 Pasivní	20
2.1.2 Aktivní	20
2.1.3 Druh pohonu	21
2.1.4 Výpočet uchopovací síly	21
2.2 Magnetické úchopné prvky	23
2.2.1 Pasivní	23
2.2.2 Aktivní	23
2.3 Podtlakové uchopování	24
2.3.1 Pasivní	24
2.3.2 Aktivní	24
2.3.3 Zdroje podtlaku	24
2.3.4 Výpočet přídržné síly	25
3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY	27
3.1 Popis výrobku	27
3.2 Konstrukce kabelového bubnu z překližky	27
3.3 Popis výroby překližkových kabelových bubnů	28
4 POŽADAVKY PRO KONSTRUKCI KONCOVÉHO EFEKTORU	29
5 KONCEPCE ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ	31
5.1 Analýza možností výroby pomocí průmyslových robotů	31
5.2 Návrh robotického pracoviště	32
6 NÁVRH KONSTRUKCE KONCOVÝCH EFEKTORŮ.....	33
6.1 Koncový efektor ROBOT č.1	33
6.1.1 Uchopení trubek	33
6.1.2 Uchopení dutinky	35
6.1.3 Nýtování	37
6.1.4 Popis konstrukce koncového efektoru č.1	37
6.2 Koncový efektor ROBOT č.2	38
6.2.1 Uchopení čela	38
6.2.2 Navádění čela do přípravku	40
6.2.3 Manipulace s hotovým výrobkem	43
6.2.4 Popis konstrukce koncového efektoru č.2	44
7 VOLBA ROBOTŮ PRO ROBOTICKÉ PRACOVISTĚ	45
8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE	47
9 ZÁVĚR.....	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	53
SEZNAM OBRÁZKŮ	55

ÚVOD

Tato práce se v první části zabývá přehledem možností uchopování objektů průmyslovými roboty se zaměřením na nejrozšířenější způsoby mechanického a podtlakového uchopování objektů. Pro tyto způsoby uchopování jsou uvedeny rovnice, z nichž se vypočítá úchopná síla, podle které se volí vhodná velikost uchopovacího prvku.

Druhá část se zabývá návrhem konstrukčního řešení dvou koncových efektorů pro výrobu kabelových bubnů, a to jak po stránce volby vhodného uchopování dílů, výběru uchopovacího mechanismu s výpočtem úchopné síly, tak i po stránce vhodného rozmístění uchopovacích prvků na efektorech s cílem plynulého navázání výrobních operací. Dále je také zpracován možný návrh robotického pracoviště a volba robotů pro koncové efekторы.

1 MOTIVACE

Motivací pro zpracování této práce je především přenesení monotónní práce spočívající v opakování stále stejných pohybových úkonů a někdy i fyzicky namáhavé práce, spočívající v manipulaci s rozměrnými díly a přesném usazování těchto dílů do přípravku, na stroje a tím i částečné zautomatizování a zrychlení výroby.

2 MOŽNOSTI UCHOPOVÁNÍ OBJEKTŮ PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM

Aby bylo možné předměty uchopit a manipulovat s nimi je na průmyslový robot osazen koncový efektor, jehož konstrukce se skládá z jedné nebo více úchopných hlavice. Úchopné hlavice mohou mít různé podoby a modifikace v závislosti na tvaru, způsobu uchopení a další manipulaci s daným předmětem.

Podle [1] je níže uvedeno rozdělení úchopných prvků následovně.

Úchopné prvky:	mechanické	- pasivní	- pevné a stavitelné opěry,
			- pružné a odpružené čelisti,
		- aktivní	- s hydromotorem,
			- s pneumotorem,
			- s elektromotorem,
			- s elektromagnetem,
	magnetické	- pasivní	- permanentní magnety,
		- aktivní	- elektromagnety,
	podtlakové	- pasivní	- deformační přísavky,
			(verze: s pomocným ventilem),
		- aktivní	- s vývěvou,
			- s ejektorem,
	speciální.		

V této práci jsou dále hlouběji rozebrány úchopné prvky mechanické a podtlakové z důvodu jejich rozšířenosti a použití v návrhu konstrukce koncového efektoru.

2.1 Mechanické úchopné prvky

Mechanické úchopné prvky jsou díky možnosti osazením tvarovanými čelistmi vhodné pro manipulaci s různě tvarovanými součástmi.

2.1.1 Pasivní

Pro jejich konstrukci se jedná o nejjednodušší efekty. Úchopný prvek může mít např. tvar háku, vidlice nebo čepu pro snadné podebrání, přenesení a odložení součásti. Další možnosti mohou být pružné čelisti, u kterých se pro uchopení součásti využívá deformace čelistí. K uvolnění součásti z pružných čelistí se využívá zpětného pohybu ramene robotu. [1], [2]

2.1.2 Aktivní

Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou vybaveny ovládanými pohyblivými čelistmi, jejichž pohyb může být realizován různými druhy pohonů. [3] [4]



Obr. 2.1 Paralelní chapadlo SCHUNK [5]

2.1.3 Druh pohonu

Hydraulické pohony

Výhodou hydraulických pohonů jsou velké uchopovací síly při současné minimalizaci jejich rozměrů. Nevýhody použití hydraulických pohonů jsou nutnost hydraulického agregátu a rozvod tlakového oleje až k efektoru, nutnost použití dobrých těsnících prvků, aby nedocházelo k znečištění pracoviště a s tím související pořizovací náklady těchto pohonů. [2]

Pneumatické pohony

Jedná se o nejpoužívanější skupinu pohonů. Výhodou je dostupnost stlačeného vzduchu. Nevýhodou je malý jednotkový výkon oproti hydraulickým pohonům. [2]

Elektrické pohony

Výhodou elektrických pohonů je jejich snadné řízení a dále, že pro provoz nepotřebují žádné médium. Nevýhodami jsou vyšší cena než u pneumatických pohonů a nutnost transformace rotačního pohybu motoru na lineární pohyb čelistí. [2]

2.1.4 Výpočet uchopovací síly

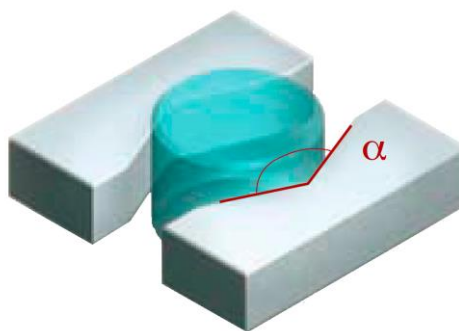
Úchopná síla mechanických úchopných prvků se podle [6] spočítá z následujících rovnic. Pro výpočet této síly je rozhodující, o jaký typ styku se jedná.

Silové uchopování

$$F = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \mu} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S \quad (2.1)$$

Rovnice (2.1) je odvozena pro případ, kdy je chapadlo vybaveno dvěma čelistmi. V případě použití většího počtu čelistí by se rovnice (2.1) upravila do podoby rovnice (2.2).

$$F = \frac{m \cdot g}{n_c \cdot \mu} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S \quad (2.2)$$



Obr. 2.2 Silové uchopování [6]

Tvarové uchopování

Varianta 1.

$$F = m \cdot (a + g) \cdot S \quad (2.3)$$



Obr. 2.3 Tvarové uchopování varianta 1. [6]

Varianta 2.

$$F = m \cdot (a + g) \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \cdot S \quad (2.4)$$



Obr. 2.4 Tvarové uchopování variant 2. [6]

kde: F je teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení bubnu [N],

m hmotnost uchopovaného předmětu [kg],

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

$n_{\text{č}}$ je počet čelistí [-],

μ je koeficient tření [-],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

α je úhel tvarového vybrání v čelistech [$^{\circ}$],

S je koeficient bezpečnosti [-].

2.2 Magnetické úchopné prvky

Magnetické úchopné prvky se používají pro manipulaci s magnetickými předměty. [3]

2.2.1 Pasivní

Jejich konstrukce se skládá z permanentního magnetu, který k sobě přitahuje kovové materiály. Nevýhodou permanentního magnetu je, že uvolňování předmětu musí být prováděno buď odtrhnutím nebo oddálením pomocí vyhazovače, který je součástí chapadla. Další nevýhodou je, že magnet přitahuje drobné magnetické částice. [1]

2.2.2 Aktivní

Využívají elektromagnetů a jejich funkce je obdobná jako u pasivních s tou výhodou, že předmět je možno snadno uvolnit vypnutím elektromagnetu.



Obr. 2.5 Pasivní magnetický uchopovací prvek SCHUNK [4]

2.3 Podtlakové uchopování

Podtlakové uchopování se obvykle používá v případě, kdy potřebujeme manipulovat s předměty deskovitého tvaru např. plechy nebo skleněné tabule. [3]

2.3.1 Pasivní

Pasivní podtlakové uchopování využívá deformace přísavky pro vytvoření podtlaku. Přísavka je deformována přitlačením na povrch předmětu. Nevýhodou je, že při uchopení pórovitého materiálu může dojít ke ztrátě podtlaku. Uvolnění předmětu je realizováno podobně jako u pasivního mechanického uchopování. [1]

2.3.2 Aktivní

Aktivní podtlakové uchopování pro vytvoření podtlaku využívá vývěv nebo ejektorů. [3]

2.3.3 Zdroje podtlaku

Ejektory

Jako zdroj energie pro ejektor slouží stlačený vzduch. Výhodou jsou kompaktní rozměry a malá hmotnost. Používají se v aplikacích, kde je potřeba odsát malé množství vzduchu a vytvořit vysoký podtlak.

Mechanické vývěvy

Mechanické vývěvy mají uplatnění tam, kde je potřeba odsát co nejrychleji velké množství vzduchu. Nevýhodou mechanických vývěv je, že obsahují pohyblivé části, které podléhají opotřebení.



Obr. 2.6 Aktivní podtlakový uchopovací prvek FESTO [7]

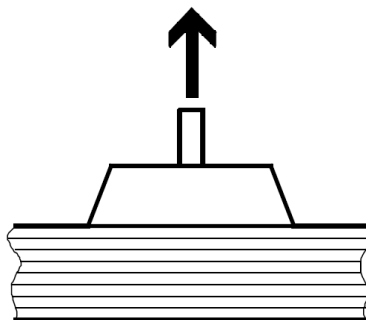
2.3.4 Výpočet přídržné síly

Podle [8] mohou nastat tři případy výpočtu přídržné síly, přičemž se tyto případy od sebe liší orientací a směrem pohybu přísavky. Z názorných příkladů výpočtu pro všechny případy manipulace také vyplývá, že v případě 3 je přídržná síla větší než v případě 2 a v případě 2 je přídržná síla větší než v případě 1.

Případ 1

Přísavka je v horizontální pozici a pohyb je prováděn ve vertikálním směru.

$$F_H = m \cdot (g + a) \cdot S \quad (2.5)$$

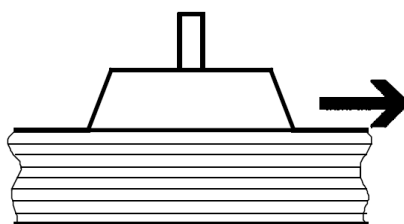


Obr. 2.7: Orientace a směr pohybu pro případ 1 [8]

Případ 2

Přísavka je v horizontální pozici a pohyb je prováděn v horizontálním směru.

$$F_H = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S \quad (2.6)$$

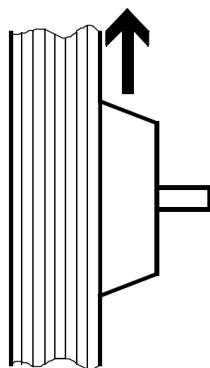


Obr. 2.8: Orientace a směr pohybu pro případ 2 [8]

Případ 3

Přísavka je ve vertikální pozici a pohyb je realizován ve vertikálním směru.

$$F_H = \frac{m}{\mu} \cdot (g + a) \cdot S \quad (2.7)$$



Obr. 2.9: Orientace a směr pohybu pro případ 3 [8]

kde: F_H je teoretická přídržná síla přísavky [N],

m je hmotnost uchopovaného předmětu [kg],

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

μ je koeficient tření [-],

S je koeficient bezpečnosti [-].

Přídržná síla jedné přísavky

Pro výpočet potřebné přídržné síly jedné přísavky podle [8] je teoretická přídržná síla přísavky podělena počtem použitých přísavek. Konkrétní typ přísavky je následně zvolen s nejbližší vyšší hodnotou přídržné síly.

$$F_A = \frac{F_H}{n} \quad (2.8)$$

kde: F_A je teoretická přídržná síla jedné přísavky [N],

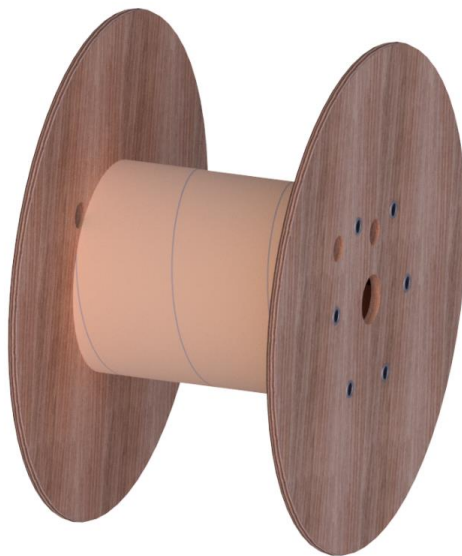
F_H je teoretická přídržná síla přísavky [N],

n je počet přísavek [-].

3 SOUČASNÝ STAV VÝROBY

3.1 Popis výrobku

Kabelový buben je výrobek, který slouží jako obalový materiál pro návin např. elektrických kabelů, řetězů, drátů, lan a trubek z HDPE. Vyrábí se z různých materiálů např. kov, dřevo, plast a papír v závislosti na velikosti, nosnosti a požadavcích zákazníka.



Obr. 3.1 Kabelový buben

3.2 Konstrukce kabelového bubnu z překližky

Konstrukce kabelového bubnu se skládá ze třech základních částí (čela, dutinky a tenkostěnné trubky).

Čelo

Materiálem je březová překližka, která je obrobena na CNC strojích nebo robotickém pracovišti do kruhového tvaru s několika otvory. Čela jsou na bubnu dvě, přičemž nemusí být totožná. Obvyklé je, že jedno čelo má díru navíc pro zavedení navíjeného materiálu.

Dutinka

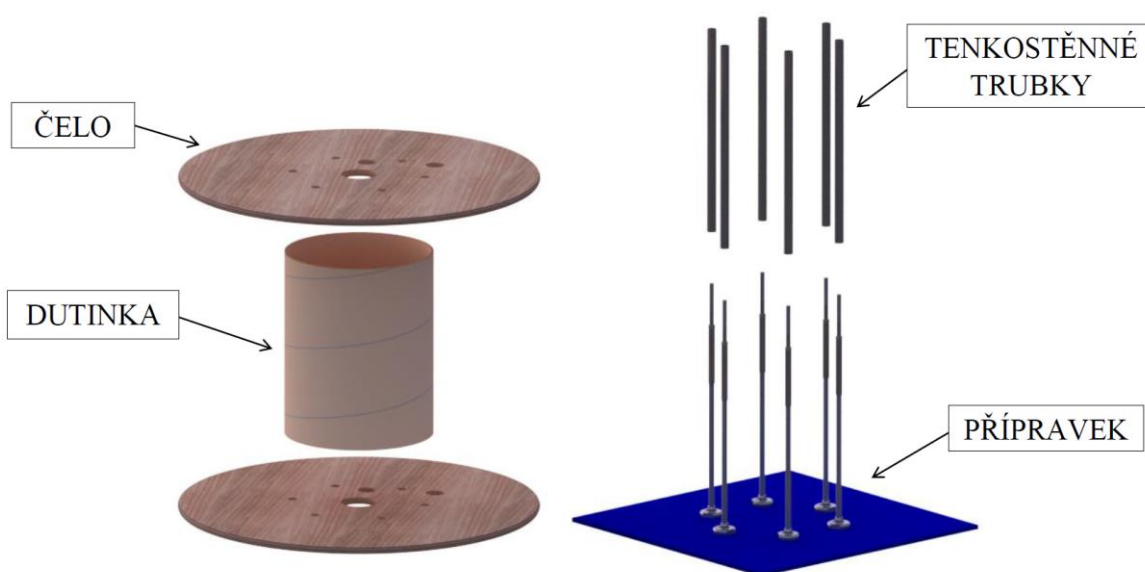
Jedná se o papírovou nebo plastovou trubici, která tvoří jádro bubnu.

Tenkostěnné trubky

Ocelová tenkostěnná trubka o průměru 20 mm slouží ke spojení všech částí bubnu. Spoj je realizován tak, že se provede zanýtování konců trubek. V konstrukci kabelového bubnu je zpravidla 3, 4 nebo 6 kusů těchto trubek.

3.3 Popis výroby překližkových kabelových bubnů

Výroba (kompletace) kabelového bubnu probíhá na přípravku, který je nastaven na konkrétní typ kabelového bubnu. Prvním krokem je založení tenkostěnných trubek do přípravku. Následuje postupné usazení prvního čela, dutinky a druhého čela do přípravku. Po provedení kompletace dochází k nýtování tenkostěnných trubek, čímž dojde k nerozebíratelnému spojení všech částí kabelového bubnu. Kabelový buben je následně sejmут z přípravku, který je tímto krokem připraven k dalšímu použití.



Obr. 3.2 Přípravek a díly kabelového bubnu

4 POŽADAVKY PRO KONSTRUKCI KONCOVÉHO EFEKTORU

Konstrukce koncového efektoru je koncipována tak, aby umožnila kompletaci (výrobu) bubnů napříč výrobním požadavkům. To jest od rozměrově nejmenších po rozměrově největší.

Následující požadavky zahrnují základní parametry dílů kabelového bubnu. Z těchto požadavků bude vycházet konstrukce koncového efektoru.

Požadavky na manipulaci s čely

- průměr: (300 až 1200) mm
- tloušťka: 8 mm, 12 mm, 15 mm
- hmotnost: maximálně 11 kg

Požadavky na manipulaci s dutinkami

- průměr: (100 až 500) mm
- délka: (100 až 639) mm
- tloušťka (síla stěny): (4 až 10) mm
- hmotnost: maximálně 7 kg

Požadavky na manipulaci s trubkami

- délka: (144 až 668) mm
- počet: (3 až 6) ks
- hmotnost: 0,25 kg

Požadavky na manipulaci s hotovým výrobkem

- hmotnost: maximálně 30,5 kg
- průměr středového otvoru: (41 až 81) mm

5 KONCEPCE ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ

Při návrhu robotického pracoviště byl zvolen stejný postup kompletace kabelového bubnu, který byl popsán v kapitole 3.3.

5.1 Analýza možností výroby pomocí průmyslových robotů

První myšlenka zautomatizování výroby pomocí průmyslových robotů počítala s tím, že bude použit jeden průmyslový robot s jedním koncovým efektem pro celkovou kompletaci bubnů. To se však ukázalo jako nevhodné jak z důvodu samotné konstrukce koncového efektoru (efektor by musel zvládnout několik výrobních operací), tak i z důvodu časové náročnosti na kompletaci jednoho bubnu (robot by nedosáhl takové výkonosti z důvodu, že musí materiál „nabírat“).

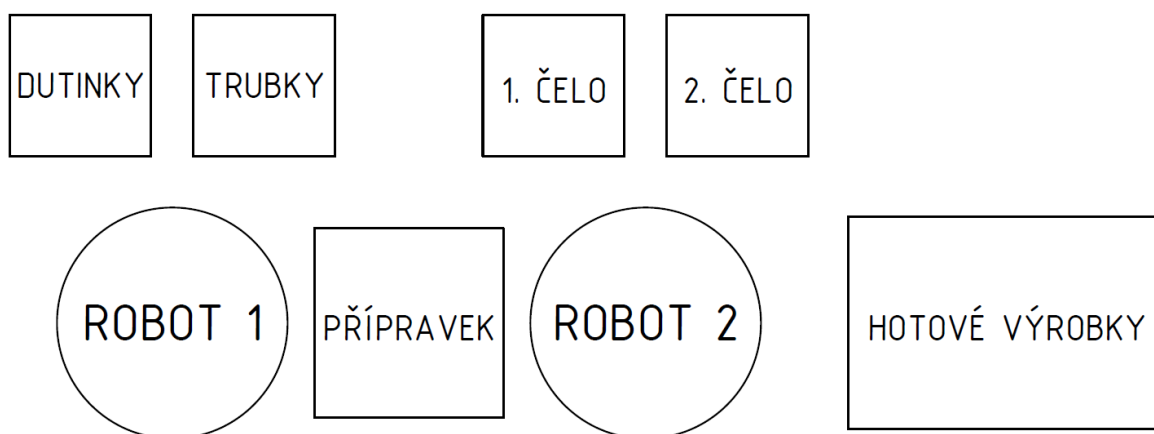
Proto bylo přistoupeno k návrhu pracoviště se dvěma roboty, z nichž každý má jeden koncový efektor. V tomto návrhu byli úkony potřebné pro kompletaci rozděleny tak, aby úkony na sebe navazující byli prováděny druhým z robotů ve chvíli, kdy jeden z robotů zakládá materiál do přípravku, tak aby druhý robot materiál nabíral a naopak. Tím se zkrátí čas kompletace.

Z tohoto návrhu tedy vyplývá, že robot č.1 bude provádět úkony při nichž dochází k manipulaci s trubkami, dutinkami a bude provádět nýtování. Robot č.2 bude manipulovat s čely a hotovým kabelovým bubnem.

5.2 Návrh robotického pracoviště

Návrh robotického pracoviště znázorňuje možnou variantu rozmístění technologie, jejíž pozice vychází z postupu výroby kabelových bubnů a z koncepce koncových efektorů.

Robotické pracoviště zahrnuje jeden přípravek, do kterého jsou usazovány díly. Dva průmyslové roboty, kteří provádějí kompletaci kabelového bubnu. Čtyři pozice, na kterých roboty nabírají díly kabelového bubnu, a nakonec prostor do kterého je odložen hotový kabelový buben.



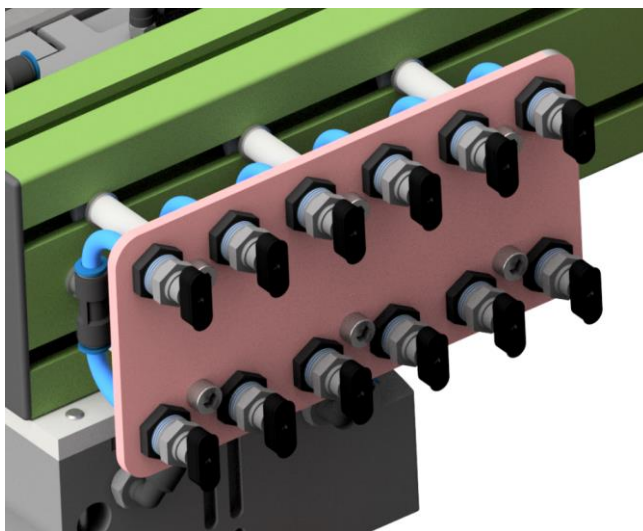
Obr. 5.1 Návrh robotického pracoviště

6 NÁVRH KONSTRUKCE KONCOVÝCH EFEKTORŮ

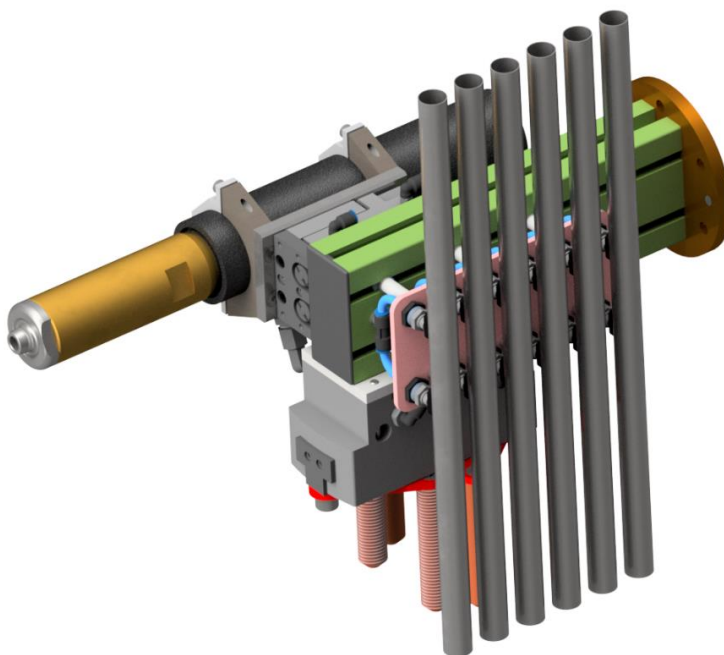
6.1 Koncový efektor ROBOT č.1

6.1.1 Uchopení trubek

Systém uchopení trubek je realizován tak, že dojde k nabrání potřebného počtu trubek (3 až 6 ks), které jsou robotem usazeny do přípravku. Každá trubka je uchopena dvojicí přísavek oválného tvaru Festo ESG-8x20-ON-HA-QS. Aby bylo možné trubky uvolňovat postupně je každá dvojice přísavek ovládaná samostatně.



Obr. 6.1 Přísavky pro uchopení tenkostěnných trubek



Obr. 6.2 Způsob uchopení tenkostěnných trubek

Výpočet velikosti přísavek pro uchopení trubek

Při výběru velikosti přísavek pro uchopení trubky byl předpoklad, že se bude s trubkami manipulovat i ve vertikální poloze, tudíž byl výpočet prováděn podle rovnice (2.7).

$$F_{H1} = \frac{m_t}{\mu_o} \cdot (g + a) \cdot S$$

$$F_{H1} = \frac{0,25}{0,5} \cdot (9,81 + 5) \cdot 2$$

$$F_{H1} = 14,81 \text{ N}$$

kde: F_{H1} je teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení trubky [N],

m_t je maximální hmotnost trubky [kg],

μ_o je koeficient tření pro ocel [-] (zvoleno podle [8]),

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

S je koeficient bezpečnosti [-] (zvoleno podle [8]).

$$F_{A1} = \frac{F_{H1}}{n_{pt}}$$

$$F_{A1} = \frac{14,81}{2}$$

$$F_{A1} = 7,41 \text{ N}$$

kde: F_{A1} je teoretická přídržná síla jedné přísavky pro uchopení trubky [N],

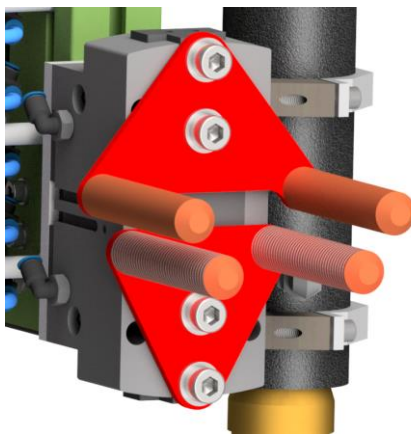
F_{H1} je teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení trubky [N],

n_{pt} je počet přísavek uchopujících trubku [-].

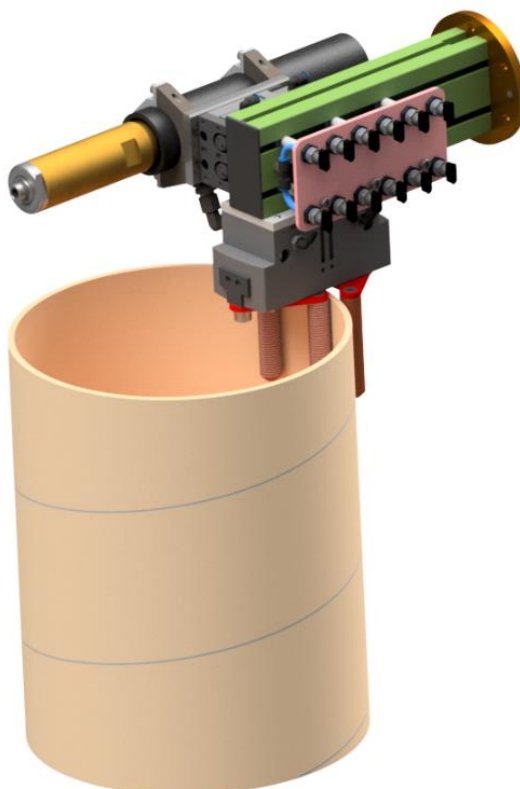
Na základě vypočítané nejmenší přídržné síly, která je potřebná pro uchopení trubky byla z katalogu výrobce vybrána přísavka s nejbližší vyšší hodnotou přídržné síly (8 N). Pro vakuový systém uchopování trubek byl na základě výpočtu provedeného v softwaru výrobce vakuové techniky [9] vybrán ejektor Festo OVEM-07-H-B-QO-CE-N-1P s evakuačním časem 514 ms.

6.1.2 Uchopení dutinky

Manipulace s dutinkou je prováděna uchopením za její stěnu pomocí paralelního chapadla Festo HGPT-50-A-B, které je osazeno čtyřmi trny, z nichž dva jsou opatřeny závitem, který zabraňuje vyklouznutí dutinky, druhý pár je hladký, aby nepoškozoval vnější plochu dutinky. Při manipulaci se tedy trny opatřené závitem dotýkají vnitřní strany dutinky, u které nám nevadí její případné poškození.



Obr. 6.3 Paralelní chapadlo pro uchopení dutinky



Obr. 6.4 Způsob uchopení dutinky

Výpočet úchopné síly pro uchopení dutinky

Pro výpočet potřebné úchopné síly byla použita rovnice (2.2).

$$F_{G1} = \frac{m_d \cdot g}{n_d \cdot \mu_{PO}} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S$$

$$F_{G1} = \frac{7 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,3} \cdot \left(1 + \frac{5}{9,81}\right) \cdot \sin \frac{180}{2} \cdot 2$$

$$F_{G1} = 345,6 \text{ N}$$

kde: F_{G1} je teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení dutinky [N],

m_d je maximální hmotnost dutinky [kg],

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

n_d je počet čelistí chapadla pro uchopení dutinky [-],

μ_{PO} je koeficient tření pro papír-ocel [-],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

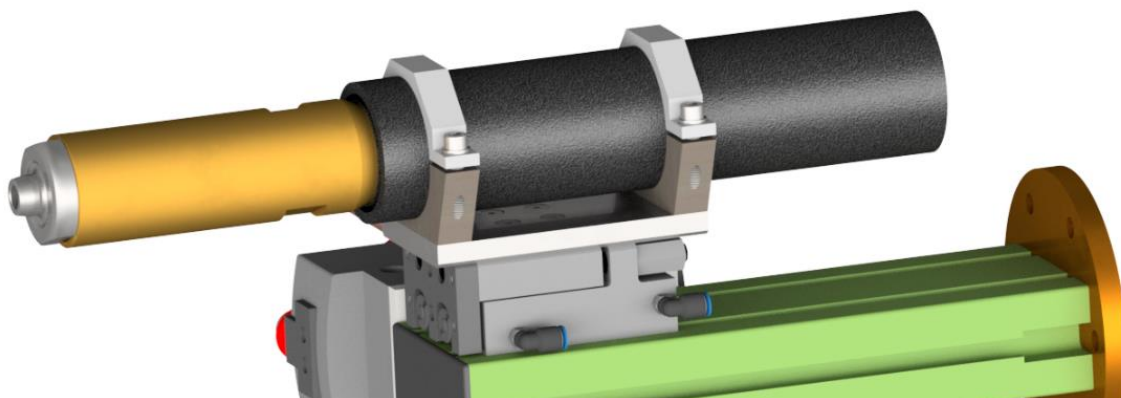
α je úhel tvarového vybrání v čelistech [$^\circ$],

S je koeficient bezpečnosti [-].

Síla úchopu chapadla se mění v závislosti na ramenu páky. Konkrétní síla úchopu chapadla se určí z grafů, které pro tyto účely dodává výrobce. Pro náš případ vzdálenosti páky 100 mm a tlak 6 barů je uchopovací síla přibližně 380 N. Uchopovací síla chapadla je větší než potřebná síla zjištěná výpočtem, paralelní chapadlo tedy vyhovuje.

6.1.3 Nýtování

Nýtování je prováděno technologií od firmy Michelfelder Gmelin GmbH & Co. KG. Tato technologie vychází ze stávajícího postupu výroby. Nýtovací pistole je upevněna na pneumatických saních Festo SLT-16-40-A-CC-B, které umožňují volný pohyb v jedné ose. Toto řešení je z důvodu, aby nedocházelo k namáhání os robotu při nýtování.



Obr. 6.5 Uchycení nýtovací pistole na efektoru

6.1.4 Popis konstrukce koncového efektoru č.1

Základní rám koncového efektoru č.1 je tvořen hliníkovým profilem Alutec KK-104590, ke kterému jsou přišroubovány předchozí zmiňované komponenty.

Na rameni robotu je umístěn ejektor s ventily jakožto zdroj a řízení podtlaku pro uchopování trubek. Dále ventil pro řízení paralelního chapadla a ventil pro řízení vysouvání nýtovací pistole. Po rameni robotu je také veden přívod tlakového oleje pro nýtovací pistole, která má svůj vlastní zdroj.

6.2 Koncový efektor ROBOT č.2

6.2.1 Uchopení čela

Uchopení čela je prováděno čtyřmi kruhovými přísavkami Festo ESG-60-SU-HD-G, které je možno polohovat přesunutím po lineárním vedení. Poloha (roztečný průměr) je manuálně nastavitelná a zajištěna mechanickou brzdou, která je určena pro lineární vedení.



Obr. 6.6 Způsob uchopení čela přísavkami

Výběr velikosti přísavky pro uchopení čela

Při výběru velikosti přísavky pro uchopení čela bylo vycházeno z předpokladu, že čela jsou narovnána na sobě ve vertikální poloze, tudíž i manipulace s čely bude prováděna ve vertikální poloze. Pro výpočet přídržné síly tedy byla použita rovnice (2.6).

$$F_{H2} = m_{\check{c}} \cdot \left(g + \frac{a}{\mu_D} \right) \cdot S$$

$$F_{H2} = 11 \cdot \left(9,81 + \frac{5}{0,5} \right) \cdot 2$$

$$F_{H2} = 435,8 \text{ N}$$

kde: F_{H2} je teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení čela [N],

$m_{\check{c}}$ je maximální hmotnost čela [kg],

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

μ_D je koeficient tření pro dřevo [-] (zvoleno podle [8]),

S je koeficient bezpečnosti [-] (zvoleno podle [8]).

$$F_{A2} = \frac{F_{H2}}{n_{p\check{c}}}$$

$$F_{A2} = \frac{435,8}{4}$$

$$F_{A2} = 109 \text{ N} \quad F_{A2 \text{ skut}} = 166,1 \text{ N}$$

kde: F_{A2} je teoretická přídržná síla jedné přísavky pro uchopení čela [N],

F_{H2} je teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení čela [N],

$n_{p\check{c}}$ je počet přísavek uchopujících čelo [-],

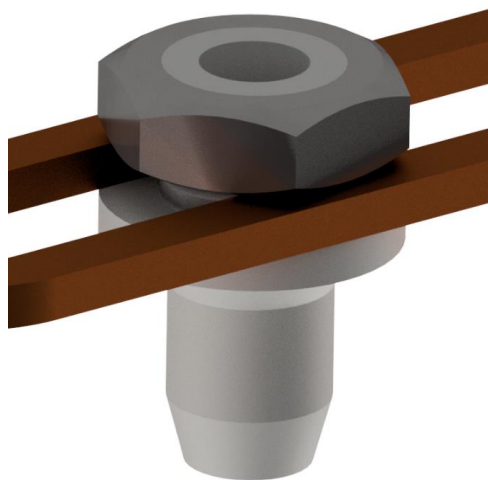
$F_{A2 \text{ skut}}$ je přídržná síla jedné přísavky pro uchopení čela udávaná výrobcem [N].

Na základě vypočítané nejmenší přídržné síly, která je potřebná pro uchopení čela byla z katalogu výrobce vybrána přísavka s nejbližší vyšší hodnotou přídržné síly (166,1 N). Pro vakuový systém uchopování čel byl na základě výpočtu provedeného v softwaru výrobce vakuové techniky [9] vybrán ejektor Festo OVEM-07-H-B-QO-CE-N-1P s evakuačním časem 310 ms.

6.2.2 Navádění čela do přípravku

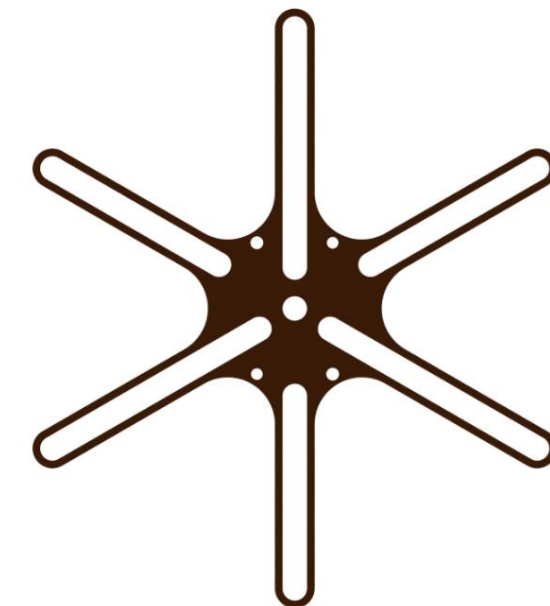
Z důvodu, že mezi otvory pro trubky a trubkami je malá vůle, mohlo by dojít k tomu, že trubky nezapadnou do otvorů, čímž by nemohlo dojít k nasazení čela do přípravku. Z tohoto důvodu bylo navrženo zaváděcí zařízení, které navede trubku přesně do otvoru.

Zařízení se skládá z kompaktního válce Festo ADNGF-25-40-P-A, který zajišťuje zasouvání středících prvků do děr v čele. Středící prvky jsou s válcem spojeny pomocí přípravku s drážkami, které umožňují nastavení do potřebné polohy.

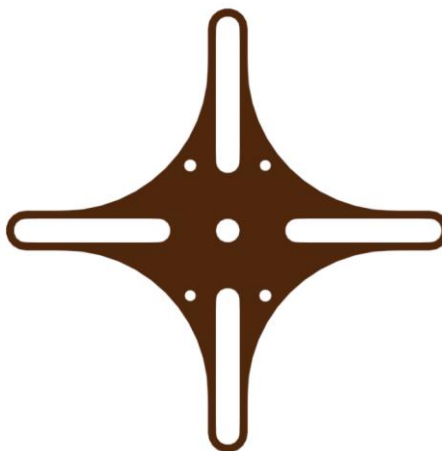


Obr. 6.7 Zaváděcí přípravek

Přípravek s drážkami byl navržen ve dvou variantách, kdy varianta č. 1 slouží při výrobě kabelových bubnů s třemi a šesti trubkami a varianta č. 2 slouží při výrobě kabelových bubnů se čtyřmi trubkami.



Obr. 6.8 Přípravek s drážkami varianta č. 1.



Obr. 6.9 Přípravek s drážkami varianta č. 2.

Z důvodu, že kompaktní válec působí silou proti přídržné síle přísavek, je nutné zredukovat tlak vzduchu ve válci, aby nedocházelo k odtrhávání čela.

Maximální síla, kterou může válec působit

$$F_{V \max} = n_{p\check{c}} \cdot F_{A2 \text{ skut}} - F_{H2}$$

$$F_{V \max} = 4 \cdot 166,1 - 435,8$$

$$F_{V \max} = 228,6 \text{ N}$$

kde: $F_{V \max}$ je maximální síla, kterou může působit válec na čelo [N],

$n_{p\check{c}}$ je počet přísavek uchopujících čelo [-],

$F_{A2 \text{ skut}}$ je přídržná síla jedné přísavky pro uchopení čela udávaná výrobcem [N],

F_{H2} je teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení čela [N].

Plocha pístu ve válci

$$S_V = \frac{\pi \cdot d_V^2}{4}$$

$$S_V = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4}$$

$$S_V = 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

kde: S_V je plocha pístu ve válci [m²],

d_V je průměr pístu ve válci [m].

Maximální tlak ve válci

$$p_{V \max} = \frac{F_{V \max}}{S_V}$$

$$p_{V \max} = \frac{228,6}{4,91 \cdot 10^{-4}}$$

$$p_{V \max} = 0,466 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

kde: $p_{V \max}$ je maximální tlak vzduchu ve válci [Pa],

$F_{V \max}$ je maximální síla, kterou může působit válec na čelo [N],

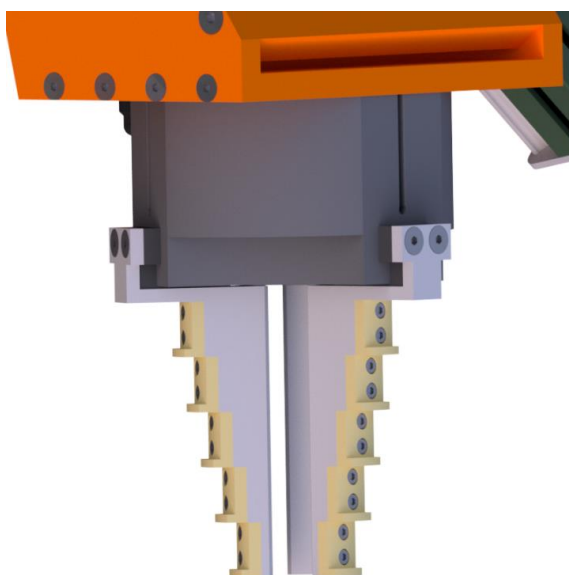
S_V je plocha pístu ve válci [m²].

6.2.3 Manipulace s hotovým výrobkem

Hotový výrobek je z přípravku sundán pomocí tříbodového chapadla Festo HGDT-63-A, které uchopí výrobek silovým stykem za středový otvor. Tříbodové chapadlo je osazeno čelistmi, které mají odstupňovaný profil, aby bylo možno dosáhnout uchopení různých průměrů středového otvoru bez nutnosti přestavby.



Obr. 6.10 Způsob uchopení kabelového bubnu



Obr. 6.11 Tříbodové chapadlo s čelistmi

Výpočet úchopné síly pro uchopení kabelového bubnu

Pro výpočet potřebné úchopné síly byla použita rovnice (2.2).

$$F_{G2} = \frac{m_b \cdot g}{n_{kb} \cdot \mu_{DO}} \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right) \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S$$

$$F_{G2} = \frac{30,5 \cdot 9,81}{3 \cdot 0,5} \cdot \left(1 + \frac{5}{9,81}\right) \cdot \sin \frac{180}{2} \cdot 2$$

$$F_{G2} = 602,3 \text{ N}$$

kde: F_{G2} je teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení bubnu [N],

m_b je maximální hmotnost kabelového bubnu [kg],

g je tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

n_{kb} je počet čelistí chapadla pro uchopení kabelového bubnu [-],

μ_{DO} je koeficient tření pro dřevo-ocel [-],

a je zrychlení vyvolané pohybem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],

α je úhel tvarového vybrání v čelistech [$^\circ$],

S je koeficient bezpečnosti [-].

Síla úchopu chapadla se mění v závislosti na ramenu páky. Konkrétní síla úchopu chapadla se určí z grafů, které pro tyto účely dodává výrobce. Pro náš případ vzdálenosti páky 20 mm a tlak 8 barů je uchopovací síla přibližně 770 N. Uchopovací síla chapadla je větší než potřebná síla zjištěná výpočtem, tříbodové chapadlo tedy vyhovuje.

6.2.4 Popis konstrukce koncového efektoru č.2

Základní rám koncového efektoru č.2 je vyroben z obrobených hliníkových plechů, kterou jsou navzájem sešroubovány. K tomuto rámu jsou přišroubovány předchozí zmiňované komponenty.

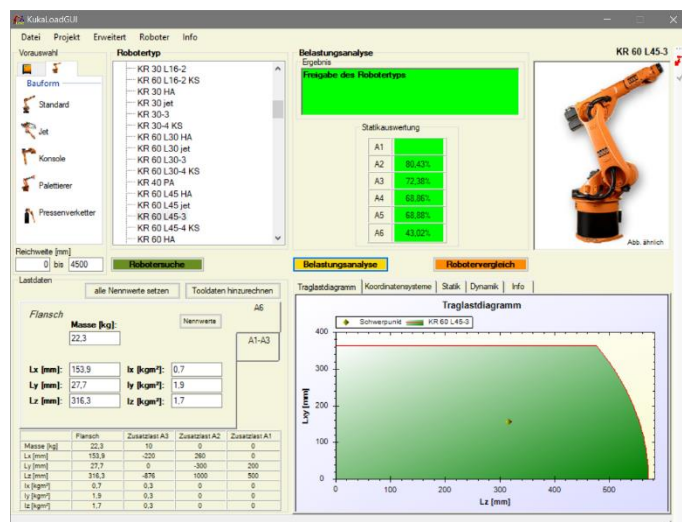
Na rameni robotu je umístěn ejektor jakožto zdroj podtlaku pro uchopování čela. Dále jsou na rameni robotu umístěny ventily pro ovládání tříbodového chapadla a pro ovládání vysouvání zařízení sloužícího k zavedení čela do přípravku.

7 VOLBA ROBOTŮ PRO ROBOTICKÉ PRACOVIŠTĚ

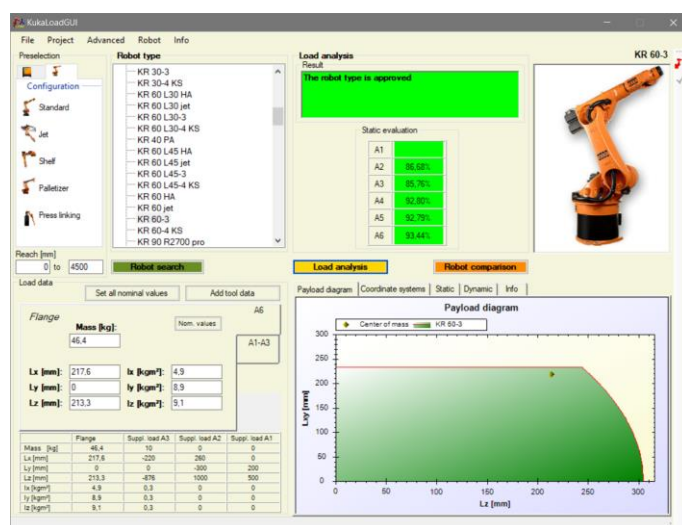
Při výběru vhodných robotů pro koncové efekty byl použit software Kuka Load [10], který na základě parametrů koncového efektoru a zvoleného robotu vypočítá, zda je zvolený robot vhodný pro danou aplikaci.

Parametry koncových efektoru byli změřeny z 3D modelu, přičemž tyto hodnoty odpovídají efektoru s uchopeným předmětem. V případě koncového efektoru č.1 se jedná o největší rozměr dutinky a v případě koncového efektoru č.2 se jedná o největší zkompletovaný kabelový buben.

Z důvodu, že tato práce zahrnuje pouze návrh koncových efektorů, nikoli celého robotického pracoviště, nejsou známy parametry vzdáleností, do kterých musejí být předměty manipulovány. Z čehož vyplývá, že zvolené typy robotů se při reálné aplikaci mohou změnit.



Obr. 7.1 Volba robotu pro koncový efektor č.1



Obr. 7.2 Volba robotu pro koncový efektor č.2

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Před samotnou konstrukcí koncových efektorů bylo nutné analyzovat, jaké funkce budou koncové efekторы vykonávat, jaké pohyby budou s předměty prováděny a jak budou předměty uchopovány s ohledem na jejich tvar, velikost a plochy, za které bude možno předmět uchopit tak, aby části chapadel nebránily například usazení předmětu do přípravku.

Dalším krokem v návrhu byla analýza procesu kompletace kabelových bubnů, z níž vychází, které manipulační úlohy budou koncovým efektořem prováděny. Funkce koncových efektorů byly voleny tak, aby úkony na sebe navazující nebyly prováděny jedním koncovým efektořem.

Dále bylo nutné zvolit správnou velikost a rozmístění úchopných prvků tak, aby byly efekторы univerzální a zvládly uchopit předměty dle zadaných požadavků. Výpočty úchopné síly byly provedeny se zrychlením $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ z důvodu, že tyto výpočty jsou pro nejrozměrnější díly, u kterých se při manipulaci nepředpokládá vysoká dynamika pohybu. Při zvolení vyšší hodnoty zrychlení by uchopovací prvky při manipulaci s menšími díly byly zbytečně předimenzované.

9 ZÁVĚR

Rešeršní část této práce se zabývá analýzou aktuálních možností uchopování předmětů průmyslovými roboty. V této části byly s krátkým popisem funkce a principu zpracovány možnosti uchopování a u mechanického a podtlakového uchopování, jakožto nejrozšířenějších způsobů uchopování, byly uvedeny rovnice používané při výpočtu úchopné síly chapadel.

Druhá část se zabývá samotnou konstrukcí koncových efektorů. Nejprve byla provedena analýza manipulační úlohy s cílem zjistit jaké manipulační úkony budou muset koncové efektor zvládnout. Z této analýzy byla navrhována i možná varianta podoby robotického pracoviště.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk a Zdeněk KADLEC. *Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavíc a periferií*. 1. vyd. Brno: PC DIR, 1993, 165 s. ISBN 80-214-0533-3.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007 [cit. 2018-04-24]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf
- [3] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [4] SCHUNK: *Magnetic gripper* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/gsw-m/
- [5] SCHUNK: *Paraller gripper* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/mpg/
- [6] WOLF, Andreas, Ralf. STEINMANN a Henrik. SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005. ISBN 3-540-25657-1.
- [7] FESTO: *Suction gripper* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/npc/npc-config-ui/start.do?caller=KAT&product=ESG_RUND.CONFIGURATIONVIEW&caturl=https%3A%2F%2Fwww.festo.com%2Fcat%2Fcs_cz%2Fproducts_ESG&configurationId=d089e72e-19ec-4e60-8432-d915128c99aa&tabId=eaca720e-d17b-4622-956e-c1626d345e0f#!/product/ESG_RUND.PRODUKTKONFIGURATOR
- [8] FESTO: *Basic vacuum technology principles* [online]. b.r. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_Principles.pdf
- [9] FESTO: *Vacuum component selection* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/default.aspx?q=vacuum+selection&tab=4&s=t#result
- [10] KUKA: *Download center* [online]. b.r. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/services/downloads?terms=Category:Software;Language:cs:1;Language:en:1;&q=kuka%20load>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	zrychlení vyvolané pohybem
d_V	$[\text{m}]$	průměr pístu ve válci
F	$[\text{N}]$	teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení bubnu
F_A	$[\text{N}]$	teoretická přídržná síla přísavek
F_{A1}	$[\text{N}]$	je teoretická přídržná síla jedné přísavky pro uchopení trubky
F_{A2}	$[\text{N}]$	teoretická přídržná síla jedné přísavky pro uchopení čela
$F_{A2 \text{ skut}}$	$[\text{N}]$	přídržná síla jedné přísavky pro uchopení čela udávaná výrobcem
F_{G1}	$[\text{N}]$	teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení dutinky
F_{G2}	$[\text{N}]$	teoretická úchopná síla čelisti pro uchopení bubnu
F_H	$[\text{N}]$	teoretická přídržná síla přísavek
F_{H1}	$[\text{N}]$	teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení trubky
F_{H2}	$[\text{N}]$	teoretická přídržná síla přísavek pro uchopení čela
$F_{V \text{ max}}$	$[\text{N}]$	maximální síla, kterou může působit válec na čelo
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	tíhové zrychlení
m	$[\text{kg}]$	hmotnost uchopovaného předmětu
m_b	$[\text{kg}]$	maximální hmotnost kabelového bubnu
$m_{\check{c}}$	$[\text{kg}]$	maximální hmotnost čela
m_d	$[\text{kg}]$	maximální hmotnost dutinky
m_t	$[\text{kg}]$	maximální hmotnost trubky
n	$[-]$	počet přísavek
$n_{\check{c}}$	$[-]$	počet čelistí
n_d	$[-]$	počet čelistí chapadla pro uchopení dutinky
n_{kb}	$[-]$	počet čelistí chapadla pro uchopení kabelového bubnu
$n_{p\check{c}}$	$[-]$	počet přísavek uchopujících čelo
n_{pt}	$[-]$	počet přísavek uchopujících trubku
$p_{V \text{ max}}$	$[\text{Pa}]$	maximální tlak vzduchu ve válci
S	$[-]$	koeficient bezpečnosti
S_V	$[\text{m}^2]$	plocha pístu ve válci

α	[°]	úhel tvarového vybrání v čelistech
μ	[-]	koeficient tření
μ_D	[-]	koeficient tření pro dřevo
μ_{DO}	[-]	koeficient tření pro dřevo-ocel
μ_O	[-]	koeficient tření pro ocel
μ_{PO}	[-]	koeficient tření pro papír-ocel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Paralelní chapadlo SCHUNK [5].....	20
Obr. 2.2 Silové uchopování [6].....	21
Obr. 2.3 Tvarové uchopování varianta 1. [6].....	22
Obr. 2.4 Tvarové uchopování variant 2. [6].....	22
Obr. 2.5 Pasivní magnetický uchopovací prvek SCHUNK [4]	23
Obr. 2.6 Aktivní podtlakový uchopovací prvek FESTO [7].....	24
Obr. 2.7: Orientace a směr pohybu pro případ 1 [8].....	25
Obr. 2.8: Orientace a směr pohybu pro případ 2 [8].....	25
Obr. 2.9: Orientace a směr pohybu pro případ 3 [8].....	26
Obr. 3.1 Kabelový buben	27
Obr. 3.2 Přípravek a díly kabelového bubnu	28
Obr. 5.1 Návrh robotického pracoviště.....	32
Obr. 6.1 Přísavky pro uchopení tenkostěnných trubek	33
Obr. 6.2 Způsob uchopení tenkostěnných trubek	33
Obr. 6.3 Paralelní chapadlo pro uchopení dutinky	35
Obr. 6.4 Způsob uchopení dutinky	35
Obr. 6.5 Uchycení nýtovací pistole na efektoru	37
Obr. 6.6 Způsob uchopení čela přísavkami	38
Obr. 6.7 Zaváděcí přípravek	40
Obr. 6.8 Přípravek s drážkami varianta č. 1.....	41
Obr. 6.9 Přípravek s drážkami varianta č. 2.....	41
Obr. 6.10 Způsob uchopení kabelového bubnu	43
Obr. 6.11 Tříbodové chapadlo s čelistmi	43
Obr. 7.1 Volba robotu pro koncový efektor č.1	45
Obr. 7.2 Volba robotu pro koncový efektor č.2	45