

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE KONCOVÉHO EFEKTORU PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU PRO SKLÁDÁNÍ KARTONOVÝCH KRABIC

DESIGN OF END EFFECTOR OF INDUSTRIAL ROBOT FOR FOLDING CARTON BOXES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Gábik

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočíš

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky |
| Student: | Jaroslav Gábik |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Základy strojního inženýrství |
| Vedoucí práce: | Ing. Petr Kočiš |
| Akademický rok: | 2018/19 |

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:

Konstrukce koncového efektoru průmyslového robotu pro skládání kartonových krabic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne a vypracuje konstrukci koncového efektoru, který po usazení na průmyslový robot bude schopen kontinuálně skládat kartonové krabice různých rozměrů bez nutnosti ručního nastavování. Zařízení musí být schopno složit a spojit dno krabice pomocí kovových spon.

Cíle bakalářské práce:

Současný stav poznání v oblasti skládání kartonových krabic.

Systémový rozbor řešené problematiky a zdůvodnění způsobu řešení problému.

Nejméně 2 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty pomocí multikriteriální analýzy.

Konstrukční návrh vybrané varianty.

Technické výpočty.

Výkresová dokumentace vybraných prvků a sestavy.

Ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalárska práca rieši návrh koncového efektora na skladanie a zošívanie kartónových krabíc rôznych rozmerov bez nutnosti manuálneho nastavovania zariadenia. Ďalej rieši návrh celého procesu skladania a k tomu návrh pracoviska, ktoré mu to umožní. Celé zariadenie je navrhnuté tak, aby bolo schopné plynule reagovať na aktuálne požiadavky výroby. Prvá časť práce je venovaná popisu súčasného stavu skladania krabíc. V ďalšej časti sú detailnejšie navrhnuté dva varianty. Po výbere vhodného variantu pomocou multikriteriálnej analýzy je vykonaný konštrukčný návrh a sú prevedené potrebné výpočty. Spomínaný návrh vzpriamuje krabice pomocou posuvnej steny. Ďalej nasleduje ekonomické zhodnotenie, ktoré zahŕňa výpočet nákladov na materiál, nakupované diely, montáž a potrebné zariadenia. Výsledkom práce je zjednodušenie už používaných efektorov na skladanie krabíc a s tým súvisiaci návrh mierne odlišného štýlu pracoviska.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design of an end effector for folding and stapling cardboard boxes of various sizes without the need for manual settings of the device. It also proposes the design of the entire folding process and the related workplace. The entire device is designed to be adaptable to current production requirements. The first part of the thesis is dedicated to the description of the actual state of folding boxes. In the next section, two variants are designed and analysed in more detail. After selecting a suitable variant by the multicriterial analysis, corresponding design is suggested and necessary calculations are performed. The mentioned design straightens the boxes with a movable wall. This is followed by an economic evaluation that takes into account calculation of material costs, purchased parts, assembly and necessary equipment. Result of this work is simplification of the already used end effectors for folding boxes and related design of slightly different workplace style.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Koncový efektor, skladanie krabíc, kartón, zošívanie dna, univerzálne pracovisko, robot

KEYWORDS

End of arm tool, end effector, case erector, cardboard, box, bottom stapling, universal workplace, robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GÁBIK, Jaroslav. *Konstrukce koncového efektoru průmyslového robotu pro skládání kartonových krabic* [online]. Brno, 2019, 61 s, Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117650>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. Petr Kočíš.

POĎAKOVANIE

Týmto chcem poďakovať môjmu vedúcemu práce Ing. Petrovi Kočišovi za pomoc pri tvorbe bakalárskej práce, za jeho odborné vedenie, čas a cenné rady.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Petra Kočiša a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa

.....
Gábik Jaroslav

OBSAH

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | MOTIVÁCIA | 17 |
| 3 | SÚČASNÝ STAV POZNANIA - SKLADANIE KARTÓNOVÝCH KRABÍC | 18 |
| 3.1 | Kontinuálne skladanie krabíc..... | 18 |
| 3.2 | Pretláčanie cez formu..... | 19 |
| 3.3 | Stroj na vzpriamovanie a uzatváranie dna krabice | 20 |
| 3.4 | Priemyselný robot | 21 |
| 4 | KONCOVÉ EFEKTORY | 23 |
| 4.1 | Manipulačné efekty | 23 |
| 4.1.1 | Mechanické úchopné prvky | 23 |
| 4.1.2 | Magnetické úchopné prvky | 24 |
| 4.1.3 | Podtlakové úchopné prvky | 25 |
| 4.2 | Technologické efekty | 26 |
| 5 | ANALÝZA PROBLÉMU | 27 |
| 5.1 | Objekt manipulácie | 27 |
| 5.2 | Voľba uchytenia..... | 29 |
| 5.3 | Spojenie dna..... | 29 |
| 5.3.1 | Lepenie páskou | 29 |
| 5.3.2 | Lepenie tavným lepidlom | 30 |
| 5.3.3 | Zošívanie dna kovovými sponami | 30 |
| 5.4 | Výber priemyselného robota..... | 31 |
| 6 | NÁVRHOVÉ VARIANTY | 32 |
| 6.1 | Variant A..... | 32 |
| 6.1.1 | Koncový efektor | 32 |
| 6.1.2 | Popis procesu | 33 |
| 6.1.3 | Zhodnotenie | 34 |
| 6.2 | Variant B..... | 34 |
| 6.2.1 | Koncový efektor | 34 |
| 6.2.2 | Popis procesu | 35 |
| 6.2.3 | Zhodnotenie | 35 |
| 7 | MULTIKRITERIÁLNA ANALÝZA | 36 |
| 8 | KONŠTRUKČNÝ NÁVRH VYBRATÉHO VARIANTU | 37 |
| 8.1 | Návrh koncového efektora..... | 38 |
| 8.2 | Návrh pracoviska | 39 |
| 9 | EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE | 49 |
| 10 | ZÁVER | 51 |
| 11 | ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV | 52 |
| 12 | ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK | 57 |
| 12.1 | Zoznam skratiek a symbolov | 57 |
| 12.2 | Zoznam tabuliek | 58 |
| 12.3 | Zoznam obrázkov | 59 |
| 13 | ZOZNAM PRÍLOH | 61 |
| 13.1 | Vytlačené prílohy..... | 61 |
| 13.2 | Prílohy v elektronickej podobe | 61 |

1 ÚVOD

Robotizované pracoviská sú v poslednej dobe veľmi dôležitou súčasťou výrobných a veľkovýrobných závodov. Tieto pracoviská urýchľujú a zefektívňujú výrobu a oslobodzujú človeka od monotónnej, opakujúcej sa a často fyzicky náročnej a nebezpečnej práce.

Hlavným dôvodom zavedenia robotického skladania krabíc je umožnenie skladania rôznych rozmerov bez nutnosti manuálneho nastavovania a zásahu človeka. Koncový efektor má byť schopný po usadení na priemyselného robota zložiť krabice v dosahu a zošíť ich dno pomocou kovových spôn. Toto skladanie je v dnešnej dobe zväčša realizované automatickými skladačkami krabíc, ktoré však nedokážu pružne reagovať na aktuálne požiadavky výroby.

Cieľom práce je navrhnuť koncový efektor pre danú činnosť. Pri návrhu treba dbať na univerzálnosť a jednoduchosť. Práca je rozdelená na dve hlavné časti. Prvá časť je rešeršného typu a pojednáva sa v nej o aktuálnych možnostiach skladania. Druhá časť je venovaná konštrukčnému návrhu, základným výpočtom a tvorbe 3D dokumentácie.

Na záver bude vykonané ekonomické zhodnotenie celého návrhu a výkresová dokumentácia jeho vybraných častí a zostavy.

2 MOTIVÁCIA

V dôsledku neustáleho znižovania pracovného času a zvyšovaniu efektívnosti a automatizácie v dnešnom priemysle sa žiada o zavedenie robotického skladania krabíc, ktorý bude univerzálnejší a prispôsobivý aktuálnym požiadavkám. Tento spôsob oprostí ľudí od manuálnej jednotvárnej práce a zníži celkový čas skladania krabíc.

Požiadavka je navrhnuť koncový efektor, pomocou ktorého bude priemyselný robot (PR) schopný skladať kartónové krabice rôznych rozmerov a spojiť dno kovovými sponami bez nutnosti manuálneho nastavovania systému a tým zrýchleniu a zautomatizovaniu celého procesu. Automatické linky na trhu je potrebné pri zmene rozmerov skladaných krabíc prestaviť či už manuálne alebo automaticky a je potrebná zložitejšia konštrukcia stroja. Automatické skladačky taktiež nedisponujú možnosťou skladať za sebou rôzne rozmery krabíc. Je potreba vyprázdniť zásobník, vložiť krabice iných rozmerov a prenastaviť stroj. Zavedením PR získame pružné zariadenie, ktoré plynule reaguje na aktuálne potreby. Taktiež sa zmenší zastavaný priestor vo fabrike ako aj počet potrebných strojov a prípravkov.

3 SÚČASNÝ STAV POZNANIA - SKLADANIE KARTÓNOVÝCH KRABÍC

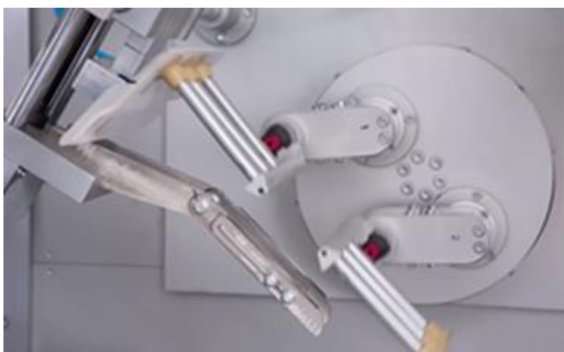
3.1 Kontinuálne skladanie krabíc

Kontinuálna linka je navrhovaná pre vysoké rýchlosti skladania a plnenia tovarom. Linka od firmy Cariba s názvom C300 (obr. 1) je vhodná najmä na jednotlivé menšie krabice tvaru kvádra plnené konkrétnym výrobkom pri veľkom počte kusov. Linka priamo plní a uzatvára krabice a posúva ich ďalej na plnenie do väčšieho prepravného balenia. Proces je veľmi rýchly a plne automatický. Dosahuje rýchlosť až 220 krabíc za minútu [1].



Obr. 1 Cariba C300 [1]

Pripravené polotovary krabíc vzpriamuje pomocou dvoch rotačných ramien s prísavkami (viď obr. 2). Krabica sa prisaje na rameno, ktoré sa otočí a prisaje krabicu na stacionárne prísavky. Pohybom sa krabica vzpriami a položí sa na dopravník. Následne sa do krabíc umiestni tovar a pomocou precíznych pohybov sa uzavrie z oboch strán pasívnymi či aktívnymi prípravkami. Pri správnom nastavení je stroj veľmi rýchly a spoľahlivý. Stroj je vhodný len na jeden typ krabice zároveň. Pri požiadavku na zmenu je potrebné stroj prestaviť na výrobcom preddefinované nastavenia. Na trhu existuje viacero výrobcov liniek pracujúcich na podobnom princípe. Napríklad firma Mpac Langen so strojom VENTO dosahuje maximálnu rýchlosť skladania až 550 krabíc/min [2]. Táto rýchlosť je dosiahnutá aj vďaka päť-ramennému rotačnému vzpriamovaču.



Obr. 2 vzpriamenie krabice (vľavo), umiestnenie na dopravníkový pás (vpravo) [3]

V tab. 1 je uvedený stručný prehľad parametrov a výrobcov. Použitie je hlavne vo farmaceutickom alebo potravinárskom priemysle. [3] [4]

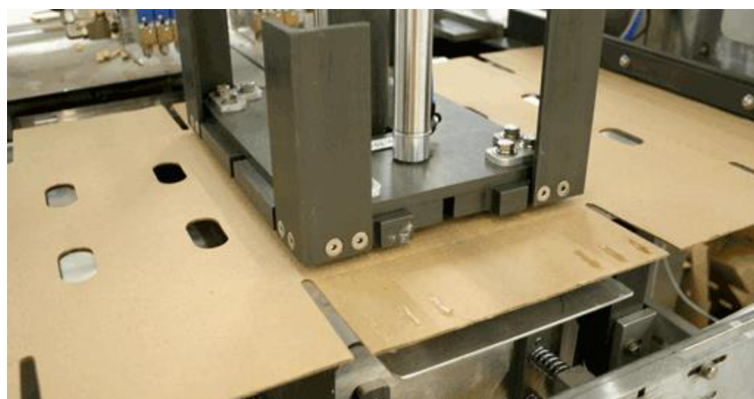
Tab. 1 Základné parametre vybraných kontinuálnych skladačiek krabíc, zľava [1] [2] [5]

| Výrobca | | Cariba | Mpac Langen | Criterion® |
|---------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------|
| Názov stroja | | C300 | VENTO | CM - 600 |
| Rýchlosť skladania [krabíc/min] | | 220 | 550 | 600 |
| Elektrická inštalácia | | 230/400V – 50 Hz | 230 V-575 V 50/60 Hz | - |
| Čas na zmenu rozmerov [min] | | 15 | - | - |
| Hmotnosť [kg] | | 2800 | 2000 | 6500 |
| Tlakový vzduch [bar] | | - | 5 -6 (0,4 m ³ /min) | - |
| Zastavaný rozmer [m] | D x Š x V | 4,95 x 1,8 x 1,67 | 7,07 x 1,76 x 1,8 | 9 x 2 x 2,13 |
| Dĺžka [mm] | od | - | 50 | 50 |
| | do | - | 190 | 203 |
| Šírka [mm] | od | - | 85 | 25 |
| | do | - | 260 | 108 |
| Výška [mm] | od | - | 20 | 89 |
| | do | - | 110 | 203 |

3.2 Pretláčanie cez formu

Táto linka je vhodná pre odlišný typ krabíc ako predchádzajúca. Je vhodná na ploché polotovary krabíc. Používajú sa zväčša v potravinárskom priemysle.

Pneumatické prísavky položia krabicu so zásobníka na dopravník, ktorý ju privedie pod piest (viď obr. 3). Piest zatlačením na dno krabice a pretlačením cez špecifické vedenie krabicu poskladá a posunie ju na ďalší dopravník. Podľa typu krabice môže byť krabica uzavretá pomocou mechanického spojenia alebo pomocou roztaveného lepidla. V prvom prípade by sa krabica doskladala výklopnými ramenami po pretlačení cez formu. V druhom prípade by sa lepidlo na stenu krabice nanášalo počas privádzania pod piest. V prípade zmeny rozmerov krabice je potrebné linku prestaviť. Firma Delkor uvádza pri svojom stroji TRAYFECTA® S SERIES, že prestavenie rozmerov trvá len 3 minúty a dokáže poskladať až 55 krabíc/min [6]. V tab. 2 môžeme vidieť parametre ďalších strojov pracujúcich na podobnom princípe. [7] [8]



Obr. 3 Skladanie krabíc pretláčaním cez formu [9]

Tab. 2 Základné parametre vybraných pretláčacích skladačiek krabíc, zľava [6] [10] [11]

| | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Výrobca | Delkor Systems | | Imanpack | Xpak |
| Názov stroja | TRAYFECTA® S Former 1200 | | MTRF 2000 | Tray former XP- F4000 |
| Rýchlosť skladania [krabíc/min] | 55 | | 35 | 35 |
| Elektrická inštalácia | 480V - 50-60 Hz | | 400V | 230V |
| Čas na zmenu rozmerov [min] | 3 | | - | - |
| Hmotnosť [kg] | - | | - | - |
| Tlakový vzduch [bar] | 5,5 | | 6 (0,1 dm ³ /min) | 5,5 |
| Zastavaný rozmer [m] | D x Š x V | 3,34 x 1,24 x 2,2 | - | 2,03 x 1,52 x 2,54 |
| Dĺžka [mm] | od | Max 762 | 60 | 165 |
| | do | | 300 | 813 |
| Šírka [mm] | od | Max 965 | 60 | 241 |
| | do | | 200 | 813 |
| Výška [mm] | od | | 30 | 38 |
| | do | | 125 | 203 |

3.3 Stroj na vzpriamovanie a uzatváranie dna krabice

Tento rozšírený typ skladača krabíc, ktorý poskytuje napríklad firma Lantech (viď obr. 4) alebo Servisbal, je jednoduchý a pomerne rýchly na vzpriamovanie krabíc tvaru kvádra so 4 chlopňami na vrchu a dne krabice. Rozložené krabice sú pripravené v zásobníku stroja, ktorý sa manuálne dopĺňa bez potreby zastavenia stroja.

Stroj si krabice vyťahuje pomocou ramena s prísavkami a vzpriamuje krabicu buď pomocou vodiacich líšt alebo pomocou druhého ramena, ktoré uchopí a roztvorí krabicu do pravouhlého tvaru. Umiestni ju nad 4 páky, ktoré uzavrú pozdĺžne a priečne chlopne a odsunú krabicu na dopravník. Následne mechanizmus dno zalepí páskou, zlepi lepidlom alebo zošije kovovými sponami. Potom je krabica pripravená na plnenie tovarom a pokračuje po dopravníku k ďalšej operácii.



Obr. 4 C-1000 Case Erector Lantech [37]

Tieto stroje dokážu skladať krabice rýchlosťou od 6 do 30 krabíc za minútu v závislosti na rozmeroch. Pri zmene rozmerov krabice je potrebné stroj prestaviť a vymeniť krabice v zásobníku. Nie je možná plynulá zmena typu krabice podľa aktuálnej potreby, preto je tento stroj vhodný pre sériovú výrobu. V tab. 3 sú ďalšie parametre podobných vzpriamovacích strojov. [12] [13]

Tab. 3 Základné parametre vybraných strojov na vzpriamovanie a uzatváranie dna krabíc, zľava [14] [15] [16]

| Výrobca | | Combi | Endoline | Siat |
|---------------------------------|-----------|----------------|------------------|----------------------------|
| Názov stroja | | 2-EZ® HS | 211 | F44 |
| Rýchlosť skladania [krabíc/min] | | 20 | 10 | 8 |
| Elektrická inštalácia | | 240V 3f 20A | 380-415V - 50Hz | 380/400V - 50Hz, 440V 60Hz |
| Čas na zmenu rozmerov [min] | | - | - | - |
| Hmotnosť [kg] | | - | - | 550 |
| Tlakový vzduch [bar] | | - | 5,5 | 5,5-7 (48 NL/min) |
| Zastavaný rozmer [m] | D x Š x V | 2,6 x 2,92 x - | 1,8 x 1,8 x 2.36 | 3,11 x 1,4 x 1,8 |
| Dĺžka [mm] | od | 203 | 200 | 200 |
| | do | 610 | 500 | 450 |
| Šírka [mm] | od | 152 | 150 | 150 |
| | do | 406 | 400 | 350 |
| Výška [mm] | od | 127 | 175 | 150 |
| | do | 457 | 600 | 450 |

3.4 Priemyselný robot

Skladanie pomocou robota je vhodné pre rôzne veľkosti krabíc a to aj za sebou. Skladanie prebieha pomocou koncového efektora a aktívnych alebo pasívnych prvkov v dosahu robota. Rameno vezme požadovanú krabicu zo zásobníka a pomocou predom definovaných pohybov podľa rozmeru krabice vzpriami a poskladá dno krabice v interakcii s prípravkami. Po zložení krabice PR uzavrie dno pomocou lepiacej pásky a odloží krabicu na dopravník (viď obr. 5).



Obr. 5 Skladanie krabíc pomocou PR [17]

Konštrukcia pracoviska je jednoduchá a nie je nutná špeciálna údržba. Robot je schopný skladať aj väčší rozsah rozmerov bez nutnosti manuálneho prestavovania. Spoľahlivosť stroja sa odvíja len od spoľahlivosti PR a koncového efektora. Výhodou je aj malý zastavaný priestor a možnosť použitia rôznych PR. Parametre podobných systémov sú v tab. 4.

Tomuto spôsobu skladania sa venujú firmy ako napríklad Abco automation, Motion controls robotics, Combi packing systems a Servisbal. [18] [19] [20]

Tab. 4 Základné parametre vybraných robotických skladačiek krabíc, zľava [17] [21] [22]

| Výrobca | | Xpak | Xpak | Combi |
|---------------------------------|----|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Názov stroja | | ROBOX™ | Coboxx model XP-E3000RC | RCE Random Case Erector |
| Rýchlosť skladania [krabíc/min] | | 12 | 8 | 9 |
| Elektrická inštalácia | | 480V | 115V | |
| Čas na zmenu rozmerov [min] | | 0 | 0 | 0 |
| Hmotnosť [kg] | | - | - | - |
| Tlakový vzduch [bar] | | 5,5 (20 NL/min) | 5,5 | - |
| Zastavaný rozmer [m] D x Š x V | | 2,44 x 2,44 x - | 1,83 x 1,22 x - | 5,2 x 5,18 x - |
| Dĺžka [mm] | od | 100 | 100 | 203 |
| | do | 610 | 610 | 508 |
| Šírka [mm] | od | 127 | 127 | 152 |
| | do | 508 | 508 | 406 |
| Výška [mm] | od | 76 | 76 | 127 |
| | do | 610 | 610 | 457 |

4 KONCOVÉ EFEKTORY

Koncový efektor je funkčný podsystem PR, ktorý určuje funkciu robota. Je používaný najmä na manipuláciu s objektami a to vkladanie a vyberanie objektov z/do pracovného priestoru, paletizáciu, medzioperačnú manipuláciu, technologické operácie, kontrolu a špeciálne operácie, ktoré splňujú špecifické požiadavky. [23]

Na základe týchto operácií sa koncové efekторы delia na :

- manipulačné
- technologické
- kombinované
- špeciálne

Koncový efektor sa okrem samotného tela efektoru skladá s takzvanej príruby (interface). Príruba slúži k vzájomnému prepojeniu koncového efektoru a PR a musí zaistiť nie len mechanické ale aj energetické a informačné rozvody. Pri potrebe častejšej výmeny efektoru je možné zaobstarat' PR s automatickým výmenníkom nástrojov. [24]

4.1 Manipulačné efekторы

Manipulačne efekторы slúžia na uchopenie a následnú manipuláciu s objektom. Podľa spôsobu vyvedenia uchopovacej sily sa delia na úchopné prvky [24] :

- mechanické,
- magnetické,
- podtlakové,
- špeciálne.

Ďalej je možno každú kategóriu rozdeliť podľa toho, či sú schopné ovládať úchopnú silu a to na:

- pasívne,
- aktívne.

Uvoľnenie objektu pri pasívnych prvkoch je možné previesť len pomocou vonkajších zásahov.

4.1.1 Mechanické úchopné prvky

Medzi najjednoduchšie pasívne úchopné prvky patria prizmatické lôžka a podpery, ktoré slúžia k podobratiu a umiestneniu objektu manipulácie na požadované miesto. Ďalej sem patria konštrukcie s pružnými alebo odpruženými čel'usťami. K uvoľneniu objektu dôjde spätným pohybom ramena po upnutí alebo uchytení iným zariadením.

Aktívne úchopné prvky sú mechanizmy vybavené pohyblivými čeľust'ami, ktoré môžu byť poháňané rôznymi druhmi motorov a vykonávať lineárny alebo rotačný pohyb (obr. 6). Pohybom čeľustí dôjde k uchyteniu alebo uvoľneniu objektu [23].

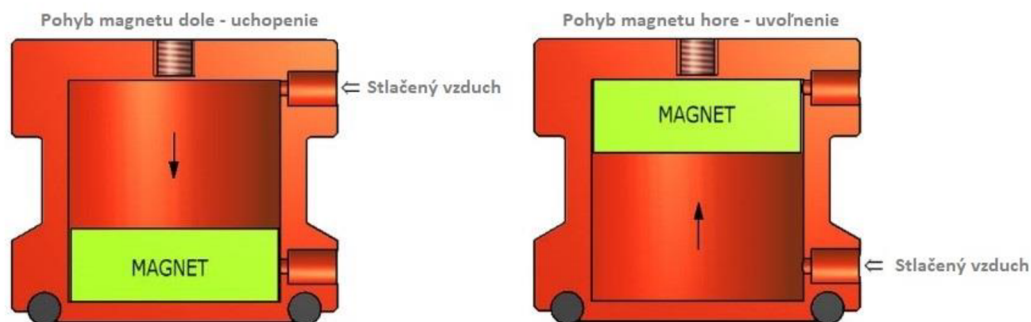


Obr. 6 Aktívny mechanický úchopný prvok [25]

4.1.2 Magnetické úchopné prvky

Pasívne magnetické úchopné prvky používajú na manipuláciu s objektami permanentné magnety. Používajú sa na manipuláciu s magnetickými predmetmi menších hmotností a rozmerov. Veľkosť úchopnej sily závisí na rozmiestnení, veľkosti, sile a počte magnetov. Uvoľnenie uchyteného objektu sa prevádza najjednoduchšie tangenciálnym pohybom ramena pri zadržanom objekte. Nevýhoda magnetického uchopovania je to, že efektor zachytáva iné magnetické, najmä drobné častice a môže to narušiť presné uchopenie a to, že je vhodný len na manipuláciu s magnetickými predmetmi.

Aktívne magnetické úchopné prvky používajú k svojej činnosti elektromagnety. Na rozdiel od pasívnych prvkov sa uvoľňovanie realizuje vypnutím napájania elektromagnetu, prípadne pri malých súčiastkach, ktoré sa mohli zmagnetizovať, zmenou polarita napätia [23]. Na obr. 7 môžeme vidieť aj realizáciu aktívnych prvkov pomocou permanentných magnetov. Úchopný prvok je ovládaný stlačeným vzduchom, po ktorého privedení na jeden zo vstupov sa presunutím magnetu vo valci aktivuje alebo deaktivuje úchopná sila [26].



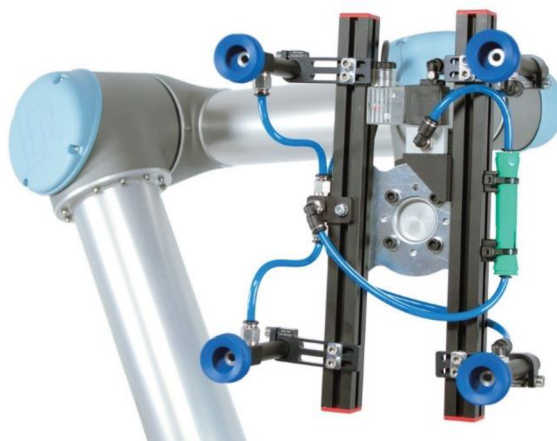
Obr. 7 Princíp činnosti aktívneho magnetického prvku s permanentným magnetom, upravené z [26]

4.1.3 Podtlakové úchopné prvky

U podtlakových prvkov sa objekty uchytávajú pomocou vákua vytvoreného buď pasívne alebo aktívne.

Pasívne úchopné prvky využívajú na vytvorenie vákua pružné deformačné prísavky. Sú veľmi jednoduché a môžu pracovať v plynnom, kvapalnom aj výbušnom prostredí. Pohybom ramena smerom k objektu dochádza k pritlačeniu prísavky o povrch, vytlačeniu vzduchu a tým zmenšenie jej vnútorného objemu. Pružnosťou stien a spätným pohybom ramena sa objem znova mierne zväčší a v prísavke vzniká podtlak. Vyvodená sila závisí na ploche styku, kvalite povrchu a na tvare a tuhosti prísavky. Akákoľvek nečistota, mastnota alebo zakrivenie povrchu negatívne ovplyvňujú úchopnú silu. Pri použití pasívnych podtlakových prvkov je požadovaná vysoká tesnosť styku. Niektoré typy prísaviek sa vedú prispôbiť mierne zakrivenému povrchu a to vďaka prevedeniu pripojenia pomocou čapu alebo guľového kĺbu prípadne prispôsobivou prísavkou. Uvoľňovanie objektu prebieha opäť pohybom v tangenciálnom smere alebo špeciálnym ovládaným ventilom, pomocou ktorého sa zruší vyvodený podtlak.

Aktívne podtlakové prvky využívajú na vytvorenie vákua vývevu alebo vo väčšej miere ejektor. Ejektory sa používajú na menšie koncové efektory. Prísavky môžu byť pripojené na samostatný ejektor alebo viaceré na jeden spoločný (obr. 8). Výhodou samostatného použitia je to, že nedochádza k vzájomnému ovplyvňovaniu úchopnej sily jednotlivých prísaviek. Konštrukcia prísavky je jednoduchá a ide vyrobiť z gumeného kotúča pripojeného na montážnu skrutku, prípadne z prísavky vyrobenej vo vulkanizačných formách. U aktívnych podtlakových prvkoch nie je požadovaná príliš vysoká tesnosť styku, čo rozširuje spektrum použitia [27].

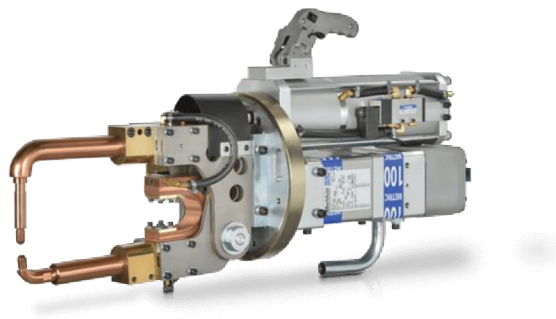


Obr. 8 Aktívne podtlakové prísavky so spoločným zdrojom vákua na koncovom efektore [28]

4.2 Technologické efekторы

Sú to hlavice, ktoré vykonávajú určitú technologickú operáciu za pomoci nástroja uchyteného na konci ramena. Podľa vykonávanej operácie sa delia na technologické koncové efekторы pre [23]:

- spájanie materiálu (zváranie (obr. 9), lepenie, spájkovanie...)
- delenie materiálu (laserom, ultrazvukom, vodným lúčom, plazmou ...)
- obrábanie (sústruženie, vŕtanie, frézovanie...)
- povrchovú úpravu (brúsenie, čistenie, leštenie, popisovanie, nanášanie povrchu...)
- kontrolu (röntgenovanie, meranie, optická kontrola...)
- špeciálne operácie



Obr. 9 Technologický ejektor pre bodové odporové zváranie [29]

5 ANALÝZA PROBLÉMU

V nasledujúcich podkapitolách budú rozobraté spôsoby riešenia jednotlivých konštrukčných prvkov návrhu s ohľadom na zadanie úlohy.

Spôsob prevedenia skladania nesmie poškodiť krabicu a mal by zabezpečiť pravouhlé zloženie stien, zavretie dna a následné jeho zošitie. Robot by mal byť schopný skladať krabice rôznych rozmerov kontinuálne bez nutnosti manuálneho nastavenia.

5.1 Objekt manipulácie

Objektom manipulácie budú klasické kartónové krabice z viacvrstvovej lepenky v tvare kvádra rôznych rozmerov. Krabica má 8 uzatváracích chlopní tvoriacich dno a vrch krabice (viď obr. 10).



Obr. 10 Výsledok procesu [30]

Rozmery krabíc, ktoré bude robot schopný zložiť boli určené na základe prieskumu už zrealizovaných automatických skladačiek ostatných výrobcov podobných krabíc. Vychádzalo sa najmä zo skladačiek obdobného typu ako bolo popísané v kapitole 1.3 a 1.4 pretože skladajú rovnaký typ krabíc, pre ktorý bude navrhnutý predmetný efektor.

Rozmery (tab. 6) a rozsahy rozmerov (tab. 5) z prieskumu môžeme vidieť v nasledujúcich tabuľkách pričom v riadku 17 a 18 môžeme vidieť rozmery a rozsahy rozmerov pre podobné pracoviská s PR aké budú navrhnuté v tejto práci.

Tab. 6 Max a min rozmery krabíc rôznych strojov

| | Dĺžka | | Šírka | | Výška | |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | od | do | od | do | od | do |
| 1 | 203 | 610 | 152 | 406 | 127 | 457 |
| 2 | 203 | 406 | 152 | 254 | 127 | 457 |
| 3 | 216 | 508 | 121 | 343 | 102 | 495 |
| 4 | 330 | 610 | 197 | 406 | 152 | 610 |
| 5 | 406 | 762 | 273 | 508 | 254 | 813 |
| 6 | 330 | 610 | 254 | 508 | 152 | 457 |
| 7 | 203 | 445 | 152 | 343 | 127 | 445 |
| 8 | 203 | 610 | 152 | 406 | 127 | 457 |
| 9 | 330 | 610 | 254 | 508 | 152 | 457 |
| 10 | 553 | 813 | 381 | 660 | 229 | 762 |
| 11 | 300 | 730 | 200 | 500 | 150 | 400 |
| 12 | 200 | 620 | 150 | 450 | 150 | 650 |
| 13 | 200 | 500 | 150 | 400 | 175 | 600 |
| 14 | 200 | 600 | 200 | 500 | 175 | 600 |
| 15 | 200 | 700 | 200 | 500 | 175 | 750 |
| 16 | 60 | 400 | 100 | 300 | 150 | 400 |
| 17 | 203 | 508 | 152 | 406 | 127 | 457 |
| 18 | 241 | 457 | 139 | 406 | 127 | 406 |

Tab. 5 Rozsah možných rozmerov pre daný stroj

| | Rozsah | Rozsah | Rozsah |
|-----------|------------|------------|------------|
| | dĺžky | šírky | výšky |
| 1 | 407 | 254 | 330 |
| 2 | 203 | 102 | 330 |
| 3 | 292 | 222 | 393 |
| 4 | 280 | 209 | 458 |
| 5 | 356 | 235 | 559 |
| 6 | 280 | 254 | 305 |
| 7 | 242 | 191 | 318 |
| 8 | 407 | 254 | 330 |
| 9 | 280 | 254 | 305 |
| 10 | 260 | 279 | 533 |
| 11 | 430 | 300 | 250 |
| 12 | 420 | 300 | 500 |
| 13 | 300 | 250 | 425 |
| 14 | 400 | 300 | 425 |
| 15 | 500 | 300 | 575 |
| 16 | 340 | 200 | 250 |
| 17 | 305 | 254 | 330 |
| 18 | 216 | 267 | 279 |

Na základe predchádzajúceho prieskumu boli zvolené tieto hraničné rozmery krabíc (tab. 7) pričom, hmotnosť najmenšej krabice je približne 0,08 kg a najväčšej 1,5 kg [30] .

Tab. 7 Zvolené rozmery krabíc

| | Od | Do |
|--------------|-----|-----|
| Dĺžka | 150 | 600 |
| Šírka | 150 | 500 |
| Výška | 125 | 600 |

Výber polotovaru krabice (viď obr. 11) bude prebiehať buď zo zvislého alebo vodorovného zásobníka pomocou efektora.



Obr. 11 Východzí tvar skladanej krabice [30]

5.2 Voľba uchytenia

Po prieskume dostupných typov manipulačných efektorov a z už zrealizovaných obdobných zariadení manipulácie s lepenkou bolo usúdené, že najvhodnejší typ úchopných prvkov na manipuláciu bude aktívny podtlakový systém pomocou prísaviek. Tento typ uchytenia je jednoduchý na realizáciu, umožňuje veľmi rýchle uchopenie a uvoľnenie krabice a dosahuje dostatočnú uchopovaciu silu.

Podtlakové prísavky boli zvolené aktívne z dôvodu nie príliš dokonalého povrchu lepenky. Povrch je síce hladký ale je mierne zvltný a je priedušný čo spôsobuje únik podtlaku. Týmito parametrami nespĺňa predpoklady na použitie pasívnych prísaviek. Bližšie podrobnosti napájania, umiestnenia a parametrov prísaviek sú uvedené v ďalšej kapitole „návrhové varianty“.

5.3 Spojenie dna

Existuje viacero možností spájania dna na krabiciach. Každá má svoje výhody aj nevýhody. Medzi najpoužívanejšími metódami je lepenie páskou, lepenie taveným lepidlom a spájanie pomocou kovových spôn. V nasledujúcich bodoch budú rozobraté jednotlivé metódy.

Požiadavkou zo zadania je realizácia spojenia pomocou kovových spôn. Tento spôsob bude rozobratý podrobnejšie.

5.3.1 Lepenie páskou

Spájanie dna a vrchu pomocou pásky je veľmi rozšírená metóda na uzatváranie krabíc. Zložená krabica prejde cez lepiaci mechanizmus (viď obr. 12), ktorý oblepí dno aj s nastaviteľným presahom na bočné steny páskou. Páska je dotláčaná valčekmi na pružine. Po prejdení celej krabice cez mechanizmus sa páska automaticky prestrihne a mechanizmus je pripravený na ďalšiu krabicu. Prvotné náklady na prístroj a na údržbu sú nízke keďže sa jedná o jednoduchý prístroj. Metóda je vhodná pre pomalšie linky a nie je vhodná na lepenie v prašnom prostredí.

Výhodou môže byť jednoduchosť a prvotná investícia ale aj možnosť úplného utesnenia tovaru od prostredia.

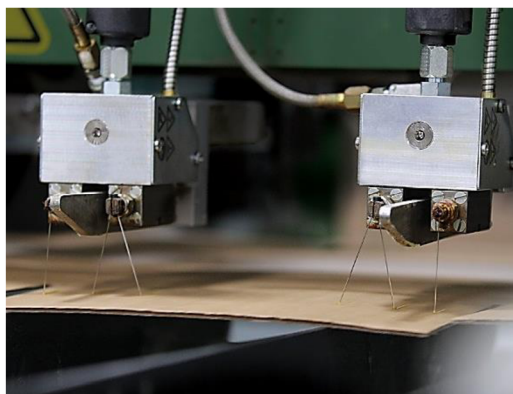
Nevýhodou je menšia rýchlosť, produkovanie odpadu z použitých kotúčov a prestoje pri výmene. Spoj nie je príliš pevný a spája len jednu vrstvu lepenky. Pevnosť spoja je náchylná na dlhú prepravu v zhoršených podmienkach, čo môže spôsobiť odlepenie pásky. Pokiaľ nám záleží na vzhľade krabice je vhodnejšie použiť inú metódu spájania, pretože páska môže znížiť celkový vzhľad krabice.



Obr. 12 Lepiaca pásková hlava (vrchná) [39]

5.3.2 Lepenie tavným lepidlom

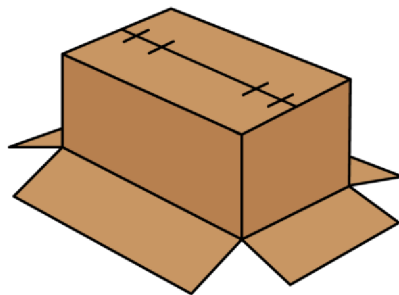
Lepenie dna lepidlom je metóda vhodná pre rýchle kontinuálne linky. Lepidlo sa dokáže aplikovať veľmi rýchlo na požadovaný priestor za pohybu kartónu a nevyžaduje zastavenie krabice ako pri spájaní dna sponami. Granulovaný materiál na báze polymérov, napríklad EVA, sa roztaví v lepiacej hlavici a aplikuje sa na chlopne (vid' obr. 13), ktoré sa následne zložia a pritlačia pre lepšie zatečenie lepidla a pevnejšieho spoja. Lepiaci materiál je lacnejší o 50-75% ako páska a navyše je možnosť nenanášať súvislú vrstvu lepidla ale len bodky, ktoré pri správnom navrhnutí poskytnú dostatočnú súdržnú silu a šetrenie lepiacim materiálom. Spoj je vhodný aj pre krabice s ťažším tovarom. Pri použití tejto metódy nevznikajú žiadne prestoje a chod je plynulý. Celkový vzhľad krabice nie je poškodený prekrytím. Tento spôsob spájania je vhodnejší pre dlhodobé využívanie z dôvodu vstupných nákladov na prístroj a jeho údržbu.



Obr. 13 Nanášanie tavného lepidla [38]

5.3.3 Zošívanie dna kovovými sponami

Spojenie dna bude realizované pomocou kovových spôn (vid' obr. 14). Použitie tohto spôsobu je z dôvodu jednoduchšej recyklácie krabíc a pevnejšieho spojenia, pri ktorom spona spojí všetky vrstvy lepenky na rozdiel od lepenia. Pri lepení dna sa lepiaci materiál môže ťažšie odstraňovať a zanechávať na sebe zvyšky kartónu, čo môže čiastočne znemožniť alebo sťažiť recykláciu. Pri použití nástroja na odstraňovanie spôn sa krabica môže použiť znova, čo je taktiež jedna z výhod spájania sponami. Spájanie sponami nám umožňuje použiť ľahšie krabice z dôvodu vyššej pevnosti spoja. Tento spoj je stály aj pri rôznych teplotách a okolitých podmienkach pri preprave a môže sa realizovať bez špeciálnych nárokov na prostredie. Spájanie je rýchle, avšak pri spájaní je potrebné aby krabica na okamžik zastavila. Ďalším spomalením procesu je čas potrebný na výmenu zásobníka.

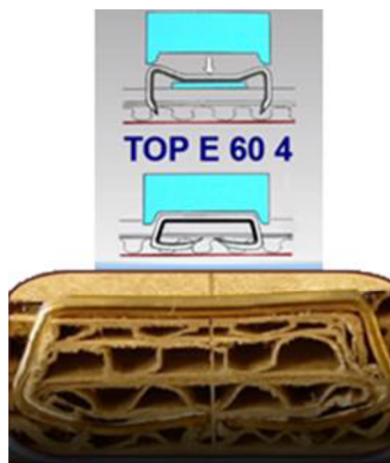


Obr. 14 Zošité dno kovovými sponami [40]

Na trhu existuje niekoľko spôsobov zošívania krabíc. Spôsob zošívania, ktorý je používaný vo firme Damet realizuje spoj tak, že zošívачka vsunie sponu do krabice a následným pohybom pák zahne nohy spony k sebe a prevedie spoj. Na sponkovačke je možnosť regulácie uzavretia spony. Poháňaná je stlačeným vzduchom o tlaku 5-7 barov. Zásobníkom je lišta na plnenie sponami v rade. Kapacita zásobníku je okolo 100 spôn.

Možná nevýhoda tohto spôsobu je, že krabica sa prepichne celá, čo pri spájaní dna, keď v krabici nie je zatiaľ žiaden tovar problémom nie je. Ďalej páky pri zahýbaní nožičiek spravia dve malé diery do krabice, čo môže zhoršiť súdržnosť a vzhľad krabice.

Ďalší z možných spôsobov je na obr. 15. Tento spôsob od firmy MEZGER Heftsysteme využíva kotúčový zásobník spôn, čo je oproti predchádzajúcemu spôsobu niekoľkonásobne lepšie pretože poskytuje kapacitu až 4000 spôn. Pomocou špeciálnej kovádliny zatlačí na rohy spony a zdeformuje ju. To uzavrie krabicu bez preniknutia dnu. Na prístroji sa dá nastaviť hĺbka zošitia. Tento spôsob je vhodný najmä na uzatváranie krabíc keď nechceme vedľajšie diery v krabici alebo poškodiť tovar v krabici. Aj tento prístroj je poháňaný stlačeným vzduchom o tlaku 4-6 barov. Pre môj návrh vyberám druhý spôsob zošívania z dôvodu väčšieho zásobníka, čím sa zníži počet výmen a čas prestojov. Ďalším dôvodom je to, že nerobí pomocné diery do krabice.



Obr. 15 Spôsob zošívania bez vniknutia do krabice [36]

5.4 Výber priemyselného robota

Na výber vhodného PR neboli kladené príliš vysoké požiadavky. Hlavným kritériom bol pracovný priestor, ktorým robot disponuje aby bol schopný skladať krabice všetkých vyššie definovaných rozmerov a dosiahol na všetky prípravky. Ďalším kritériom je nosnosť robota. Robot bude manipulovať so stredne ľahkým efektorom a s krabicou o najväčšej hmotnosti približne 1,5 kg.

Na manipuláciu volím angulárny 6-osí typ robota z dôvodu najväčšej univerzálnosti a z dôvodu širokého rozsahu pohybov. Voľba konkrétneho typu robota nie je náplňou tejto práce a sú tu uvedené len širšie požiadavky. Prípadné bližšie požiadavky najmä ohľadom nosnosti robota budú uvedené v závere práce po objasnení finálnej realizácie efektora.

Zo širšieho výberu robotov môžeme vylúčiť napríklad robot typu SCARA alebo roboty s paralelnou kinematikou, ktoré nie sú vhodné pre skladanie krabíc z dôvodu menšieho pracovného priestoru a nedostatočnými možnosťami pohybu.

6 NÁVRHOVÉ VARIANTY

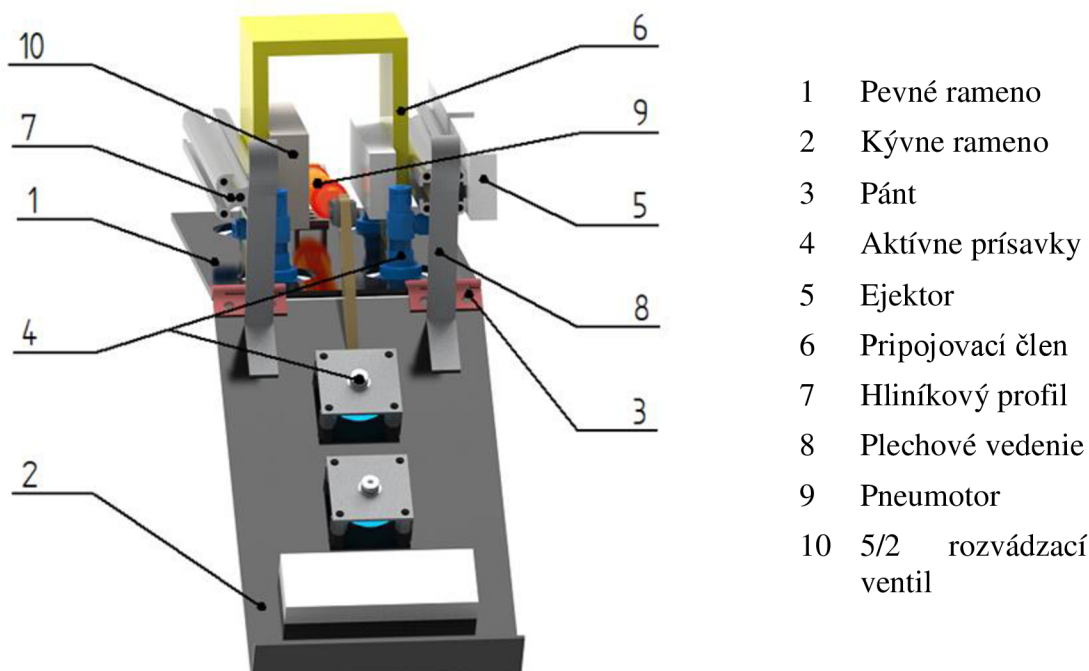
Návrhové varianty vychádzajú najmä z realizácii a poznatkov získaných v rešerši. Pri navrhovaní sa vychádzalo hlavne z variantu z rešerše (priemyselný robot) a to tak, aby bolo zariadenie schopné spojiť dno pomocou kovových spôn.

Do návrhu bol zakomponovaný aj návrh pracoviska, pomocou ktorého bude robot schopný zložiť a zošiť dno krabice. Realizovať skladanie a zošívanie rôznych veľkostí krabíc len pomocou koncového efektoru by bolo veľmi zložité a zbytočné. Hmotnosť efektoru by sa niekoľkonásobne zväčšila a bol by potrebný väčší robot s vyššou nosnosťou. Ďalšou prekážkou by bola cena z dôvodu zavedenia rôznych pohonov na nastavovanie rôznych rozmerov. Z týchto dôvodov bol do návrhu zaradený aj návrh pracoviska nad rámec zadania.

6.1 Variant A

6.1.1 Koncový efektor

Koncový efektor na obr. 16 sa skladá z dvoch ramien. Jedného pevného (1) a druhého kývného (2) spojenými cez pánty (3). Ramená sú vybavené aktívnymi prísavkami (4) poháňanými ejektormi (5). PR je pripojený na efektor pomocou pripojovacieho členu (6), ktorý zabezpečuje pevné a presné spojenie a oddialenie ramien od konca ramena robota pre väčší rozsah pohybu. Na pripojovacom člene sú upevnené aj prísavky a ejektory pevného ramena cez hliníkový profil (7). Prísavky mierne presahujú cez plech aby sa krabica po uchytení pritlačila o plech a držala presnú pozíciu. Pevný plech je pripojený taktiež o pripojovací člen pomocou skrutiek so zápusťou hlavou. Kývne rameno je obdobne vybavené prísavkami a ejektormi na tvorbu vákuua a plechovým vedením (8) na pootvorenie chlopne krabice pri zošívaní. Kývavý pohyb ramena je realizovaný pomocou lineárneho pneumatora (PM) (9), ktorý je upevnený na rotačnej väzbe a prevádza lineárny pohyb piestnej tyče na kývavý pohyb ramena. Riadenie PM je realizované 5/2 rozvádzacím ventilom (10) riadeným elektrickým signálom.

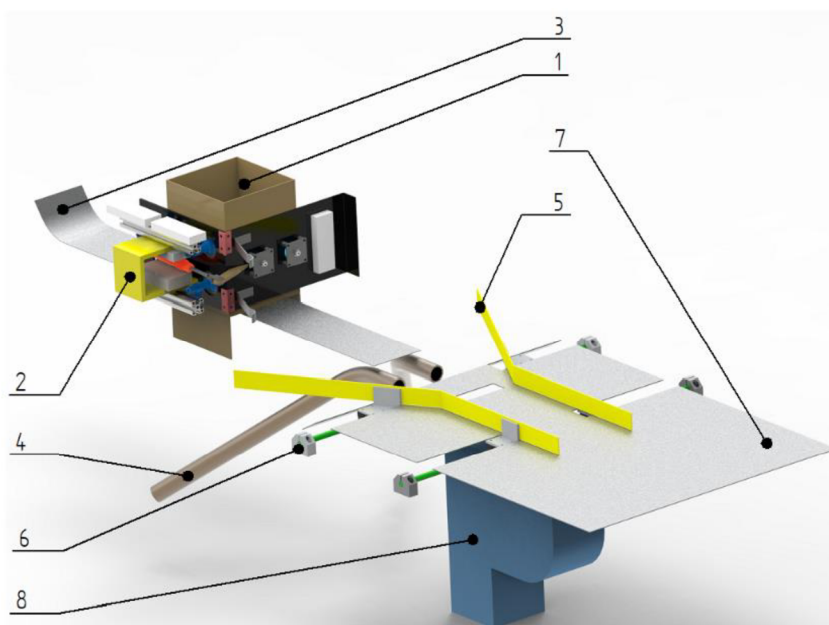


Obr. 16 Popis koncového efektoru, variant A

6.1.2 Popis procesu

Jednotlivé komponenty pracoviska je možno vidieť na obr. 17. Spomínaný efektor (2) uchopí krabicu (1) podtlakovými aktívnymi prísavkami vo vodorovnej polohe pri okraji kratšej steny a vzpriami ju do pravého uhla sklopením ramena o 90 stupňov. Rameno, taktiež vybavené prísavkami, bude po celú dobu udržiavať tento uhol pre dokonalé pravouhlé zloženie.

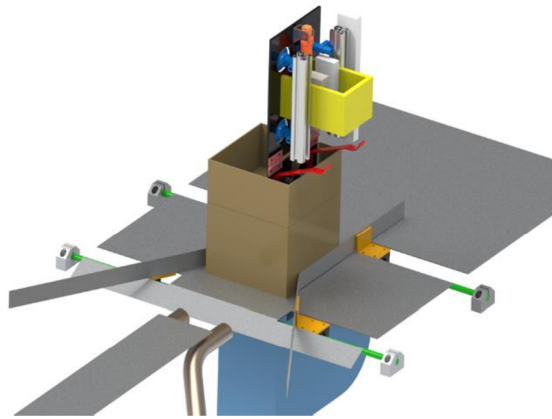
Po uchytení a vzpriamení robot umiestni krabicu nad plechový prípravok (3) vystredene a vykoná predom definované pohyby a v interakcii s ním zavrie spodné pozdĺžne chlopne. Zavretie sa prevedie pohybom pod uhlom voči plechovému prípravku. Chlopne sa zahnú dnu a pohybom dole, posadením krabice na plech sa úplne zatvoria. Nasledujú vodiace bočné trúbky (4), ktoré pozdĺžnym pohybom krabice uzavru zvyšné dve chlopne. Dno je zložené a je pripravené na zošitie pomocou kovových spôn. Efektor vsunie krabicu do špeciálneho pridržiavača (5), ktorý je na lineárnom vedení (6) a dokáže sa prispôbiť rôznym šírkam krabíc. Nastavenie prebieha rozťahnutím mechanizmu na požadovanú šírku pohybom krabice cez vodiace lišty. Spätný pohyb a pridržiavača sila je vyvolaná ťažnou pružinou, ktorou sú lišty spojené. Pod plechom stola (7) je automatická pneumatická zošívacia (8) spomínaná v analýze problému.



Obr. 17 Popis komponentov pracoviska A

| | | | |
|---|--------------------|---|-------------|
| 1 | Vzpriamená krabica | 5 | Pridržiavač |
| 2 | Koncový efektor | 6 | Vedenie |
| 3 | Uzatvárací plech | 7 | Stôl |
| 4 | Vodiace trúbky | 8 | Zošívacia |

Po uchytení krabice v pridržiavači sa efektor odpojí, kývne rameno sa vzpriami a vsunie sa do krabice kde pridrží tvarovanou plochou chlopne spolu (viď obr. 18). Pri vsúvaní je potrebné hornú chlopňu pod ramenom robota otvoriť aby efektor dosiahol až na dno bez zaseknutia krabice o rameno robota. To bude realizované šikmým vedením zo zadnej strany kývného ramena. Posuv medzi miestami zošitia je realizovaný bočným pohybom efektora opierajúceho sa o stenu krabice.



Obr. 18 Ukážka spôsobu pridržania dna krabice

6.1.3 Zhodnotenie

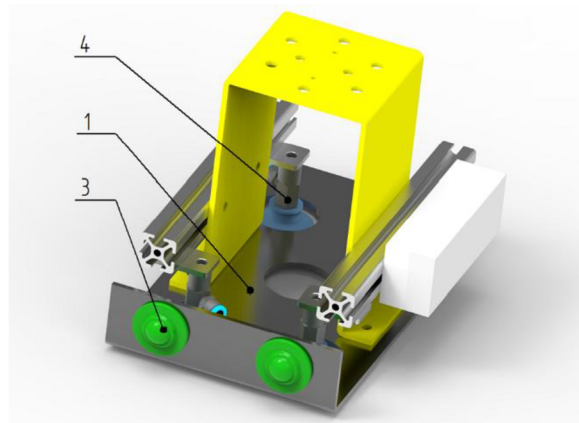
Tento návrh má výhodu, že pridržanie dna je realizované pomocou efektora a jednoduchého pasívneho prípravku a nie sú potrebné externé pohony.

Nevýhodou je obmedzenie maximálnej výšky krabice z dôvodu dĺžky kývného ramena, ktoré musí dosiahnuť na dno krabice. Riešenie by bolo možné pridaním výsuvného ramena ovládaného PM. To by ale zvýšilo zložitosť konštrukcie, cenu a hmotnosť efektora. Pri tomto prevedení by sa mohlo stať, že nedôjde k dokonalému pravouhlému zloženiu krabice z dôvodu pridržiavania krabice pri zošívaní iba o dve rovnobežné steny. Ďalším mínusom môže byť väčšia hmotnosť a zložitosť prevedenia koncového efektora.

6.2 Variant B

6.2.1 Koncový efektor

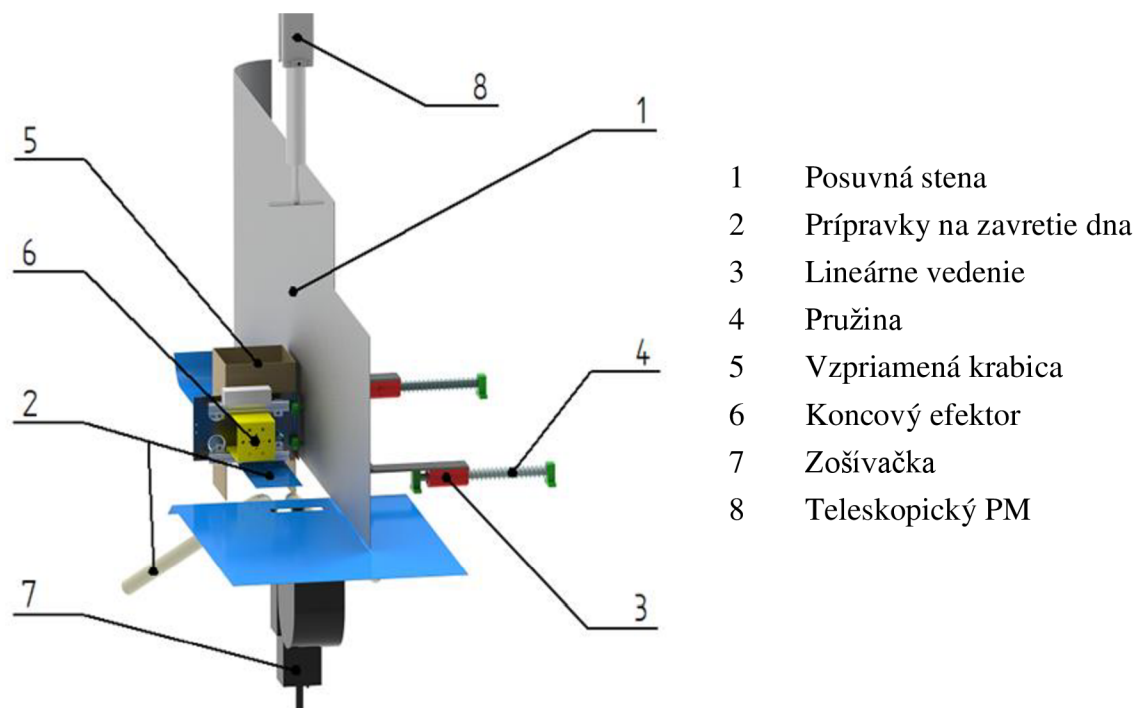
Efektor (obr. 19) je zjednodušenou podobou predchádzajúceho variantu. Skladá sa pevného ramena (1) osadeného prísavkami (2) a guľôčkovými dopravnými jednotkami (3), ktorých účel bude rozobratý neskôr. Efektor je oprostený od celého kývného ramena a jeho pohonu.



Obr. 19 Popis koncového efektora, variant B

6.2.2 Popis procesu

Pracoviisko na obr. 20 je vybavené posuvnou plechovou stenou (1) umiestnenou pozdĺžne prípravku na skladanie dna (2). Skladanie dna prebieha pomocou rovnakého mechanizmu a pohybu ako v predchádzajúcom variante. Posuvná stena je uložená na lineárnom vedení (3) a je vracaná do základnej polohy tlačnou pružinou (4) umiestnenou na lineárnom vedení. Proces skladania začína uchopením kartónu z prednej časti prísavkami. Vzpriamenie krabice (5) prebieha tangenciálnym pohybom bočnej steny krabice na zaoblené ukončenie steny. Po vzpriamaní krabice efektor drží stenu (6) po celú dobu, až po zošitie dna kolmo, pomocou valivého kontaktu umiestneného na efektoze. Pridržiava ju v takej polohe aby uchytaná krabica bola vystredená nad prípravkami a nad zošívачkou (7) pri rôznych rozmeroch krabíc. Vďaka tomuto mechanizmu nie sú potrebné žiadne pohony na nastavovanie polôh pri zmene rozmerov. Posuvnou stenou v interakcii s robotom je zabezpečené pravouhlé zloženie krabice. Pre zabezpečenie funkčnosti je potreba aby krabice boli presne zarovnané v zásobníku a robot ich uchopil v požadovanej vzdialenosti od okraja. Valivý kontakt na efektoze je použitý na zníženie trenia medzi stenou a efektorom. Odtlačenie steny pomocou krabice bolo vylúčené z dôvodu možného odtrhnutia krabice z efektoza z dôvodu veľkej tangenciálnej sily na prísavky a krabicu. Po zložení dna robot umiestni krabicu na požadované miesto zošitia krabice. V tomto prípade je pridržiavanie dna realizované teleskopickým PM (8) s dlhým zdvihom, ktorý po privedení inštrukcie vysunie piestnicu a upraveným koncom pridrží chlopne. Počas zošívania robot stále drží krabicu a posúva ju medzi polohami zošitia. Po zošití dna robot presunie krabicu k ďalšej operácii.



Obr. 20 Popis komponentov pracoviska B

6.2.3 Zhodnotenie

Tento variant je jednoduchší čo sa týka konštrukcie efektoza. Bol ušetrený jeden malý PM ale na druhej strane je použitý ešte väčší na prichytenie dna. Celý proces je rýchlejší ako v predchádzajúcom variante a PR vykonáva menej pohybov. Taktiež tu nie je obmedzenie výšky krabice.

7 MULTIKRITERIÁLNA ANALÝZA

Na zhodnotenie najlepšieho variantu bolo zvolených niekoľko kritérií. Každému kritériu bola priradená váha dôležitosti od 1 do 5 tak, že 1 je najmenšia váha a 5 je najväčšia váha. Kritéria s ich váhami sú bližšie popísané v tab. 8.

Tab. 8 Prehľad kritérií pre zhodnotenie variantov

| Označenie | Kritérium | Váha | Popis kritéria |
|-----------|-----------------------|------|---|
| 1 | Cena | 4 | Približné ceny nakupovaných dielov a montáže |
| 2 | Spotreba vzduchu | 3 | Objem spotrebovaného vzduchu za minútu |
| 3 | Zastavaná plocha | 2 | Veľkosť zastavanej plochy taktiež s ohľadom na prepravu |
| 4 | Rýchlosť skladania | 3 | Približná doba jedného cyklu |
| 5 | Zložitosť konštrukcie | 5 | Zložitosť výroby, montáže a údržby konštrukcie |
| 6 | Variabilita | 4 | Rozsah rozmerov krabíc |
| 7 | Hmotnosť efektora | 2 | Celková hmotnosť efektora (ovplyvňuje výber robota) |

V nasledujúcej tabuľke (tab. 9) je uvedené hodnotenie jednotlivých variantov. Na základe týchto hodnôt boli varianty bodovo hodnotené od 1 do 10. Vyhodnotenie variantov prebieha súčtom súčinov bodových hodnotení kritérií a ich váh. Za výsledný variant sa zvolí ten, ktorý dosiahol najvyšší vážený súčet.

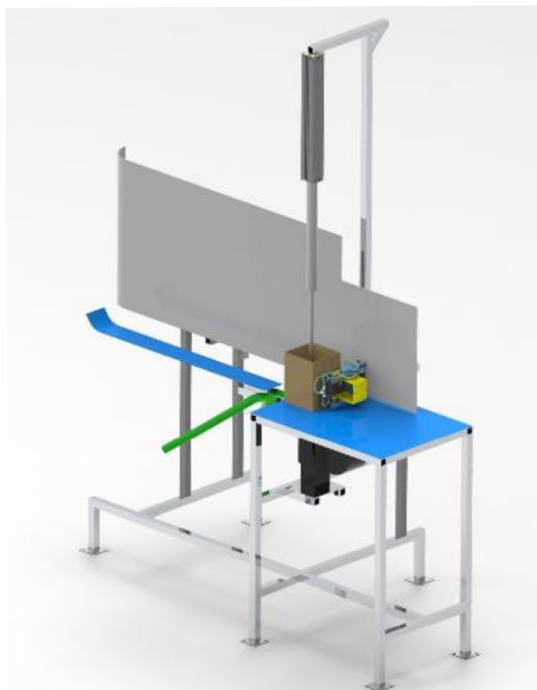
Tab. 9 Slovné vyhodnotenie a bodové hodnotenie jednotlivých variantov

| Kritérium | Variant A | Variant B | Bodové hodnotenie | |
|-----------------------|---|------------------|-------------------|------------|
| | | | A | B |
| Cena | 1626,4 | 1614,2 | 8 | 8 |
| Spotreba vzduchu | Menšia | Vyššia | 7 | 5 |
| Zastavaná plocha | 1700*630 | 1700*800 | 8 | 6 |
| Rýchlosť skladania | Pomalšia | Rýchlejšia | 6 | 8 |
| Zložitosť konštrukcie | Zložitejšia | Jednoduchšia | 5 | 8 |
| Variabilita | Obmedzenie maximálnej možnej výšky krabice | Bez obmedzení | 6 | 8 |
| Hmotnosť efektora | 3.8 kg | 2.8 kg | 7 | 9 |
| Vážený súčet | | | 150 | 173 |

Z výsledkov multikriteriálnej analýzy vyplýva, že variant B najviac vyhovuje zvoleným kritériám a to najmä z dôvodu jednoduchšej konštrukcie, variability rozmerov a rýchlejšieho skladania.

8 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH VYBRATÉHO VARIANTU

Celý návrh (viď obr. 21) je rozdelený do dvoch častí a to na návrh koncového efektoru, ktorý je detailnejšie vidieť na obr. 22 a na návrh pracoviska, pomocou ktorého bude robot schopný krabicu zložiť a zošit' jej dno. V každej časti budú rozobrané konštrukčné uzly a spôsoby riešenia.

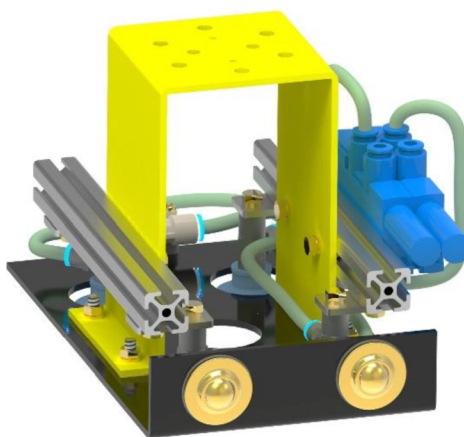


Obr. 21 Finálny návrh pracoviska s efektorom

Základné parametre navrhnutého efektoru a pracoviska sú v tab. 10.

Tab. 10 Prehľad základných parametrov návrhu

| | |
|---------------------|---------------------|
| Rýchlosť skladania | Cca 6 krabíc/min |
| Šírka spony | 22 - 26 mm |
| Kapacita spôn | 4000 |
| Stlačený vzduch | 6 bar |
| Rozmery pracoviska | 1,8 x 0,95 x 2,38 m |
| Hmotnosť pracoviska | 230 kg |



Obr. 22 Finálna podoba koncového efektoru

8.1 Návrh koncového efektora

Prísavky

Pre manipuláciu s krabicami rôznych rozmerov boli navrhnuté aktívne prísavekky od firmy Festo. Na výber vhodných prísavekky bolo nutné previesť výpočet potrebnej uchopovacej sily. Pri výpočte sa vychádzalo z týchto vstupných hodnôt:

| | |
|--------------------------|--|
| $m_k = 1,5 \text{ kg}$ | Hmotnosť najväčšej krabice |
| $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ | Gravitačné zrýchlenie |
| $a = 1 \text{ m/s}^2$ | Zrýchlenie pohybu efektora |
| $\mu = 0,5$ | Súčiniteľ trenia medzi krabicou a prísavekou |
| $S = 2,2$ | Koeficient bezpečnosti |

Výpočet bol realizovaný pre manipuláciu s najväčšou krabicou pre prípad kedy je potrebná najväčšia uchopovacia sila. Pre prísavekku vo vertikálnej polohe presúvajúcu záťaž vo vertikálnom smere je vzťah pre výpočet potrebnej sily nasledovný (1)

$$F_H = \frac{m_k}{\mu} \cdot (g + a) \cdot S \quad (1)$$

$$F_H = \frac{1,5}{0,5} \cdot (9,81 + 1) \cdot 2,2 = 71,346 \text{ N}$$

Na manipuláciu s krabicami boli navrhnuté 4 prísavekky rovnomerne rozmiestnené na efektore z dôvodu stabilného uchytenia krabice. Požadovaná úchopná sila na jednu prísavekku bola získaná delením celkovej sily počtom prísavekky

$$F_U = \frac{F_H}{n_p} \quad (2)$$

$$F_U = \frac{71,346}{4} = 17,837 \text{ N}$$

Na základe vypočítanej uchopovacej sily F_U sa z katalógu Festo [31] vybrali najvhodnejšie prísavekky o priemere 30 mm : ESG-30-SS-HB-QS.

Ejektory

Vákuum bude generované pomocou dvoch ejektorov. Každý ejektor bude poháňať dve nad sebou umiestnené prísavekky. Je to z dôvodu, že pri skladaní menšej krabice sú prisaté iba dve prísavekky bližšie ku stene a pri zapojení vrchných dvoch prísavekky na jeden ejektor by nebolo možné odpojiť prívod podtlaku z neaktívnej prísavekky a dochádzalo by k strate vákua. Ďalšou možnosťou by bolo pripojenie každej prísavekky na svoj ejektor ale z dôvodu pomerne vysokej ceny bolo zvolené spomínané zapojenie čím sú ušetrené dva ejektory. Pomocou výpočtu programu od firmy Festo [32] boli navrhnuté hadice aj ejektory na základe vstupných parametrov a požiadaviek na konštrukčné prevedenie. Bol vybraný ejektor VN-05-H-T3-PQ2-VQ2-RO1-B s evakuačným časom 0,144 s tzn. čas, za ktorý sa dosiahne požadovaného podtlaku, v tomto prípade 0,7 kPa, pre danú konfiguráciu.

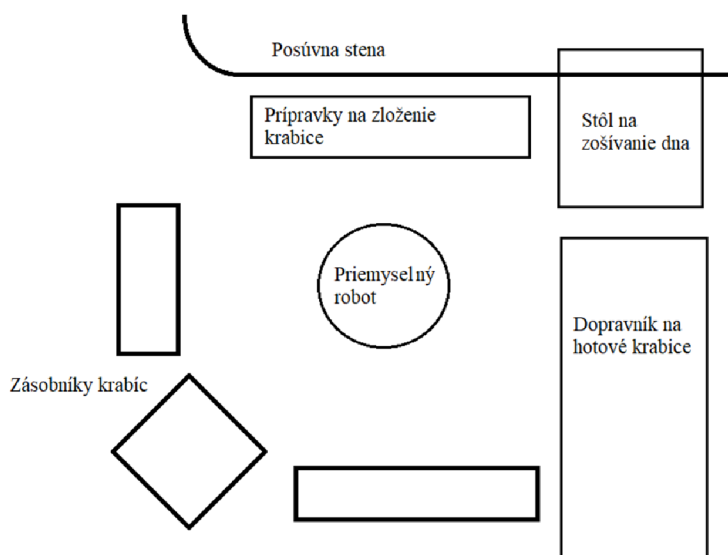
Rám

Koncový efektore sa skladá z pevného rámu, ktorý je osadený aktívnymi prísavekami, ejektormi a guľôčkovými dopravnými jednotkami. Pripojovacie miesto robota je realizované hliníkovou konštrukciou osadenou medzikusom, ktorý je upravený podľa pripojeného robota. Taktiež je cez toto spojenie efektora privedený stlačený vzduch a prívod riadenia ejektorov. Hliníková

konštrukcia je osadená hliníkovými štvorcovými profilmi, ktoré umožňujú jednoduché pripojenie ďalších prvkov. Na profily sú uchytené 2 ejektory skrutkami a 4 prísavky pomocou pásoviny. Zo spodnej časti hliníkovej konštrukcie je priskrutkovaný zahnutý plech. Spojenie je realizované skrutkami so zápustnou hlavou aby nám nepoškodili krabicu pri uchopení a prisatí prísavkami. V zahnutej časti plechu sú zapustené guľôčkové dopravné jednotky uchytené pomocou špeciálnej objímky.

8.2 Návrh pracoviska

Ako bolo spomínané vyššie bolo nutné pridať do práce aj návrh pracoviska. Jeho rozvrhnutie je na obr. 23. Pozícia prípravkov bola zvolená na základe postupu skladania krabíc. Ako prvý robot vyberie požadovaný rozmer krabice zo zásobníka krabíc, potom krabicu poskladá o prípravok na zloženie krabice v interakcii s posuvnou stenou a následne jej dno zošíje na stole. Po vykonaní všetkých operácií položí krabicu napríklad na dopravník alebo presunie k inej operácii.



Obr. 23 Rozvrhnutie robotického pracoviska

Uzatváranie dna

Prvým z prípravkov je uzatvárač vyrobený z plechu. Jeho začiatok je zahnutý do štvrt' kružnice, o ktorú sa šikmým pohybom krabice smerom k nej zavrú priečne chlopne. Tento prípravok je prizváraný na ráme. Nasledujúcim prípravkom sú kovové normalizované zahnuté trúbky taktiež pevne uchytené na ráme skrutkami. Trúbky majú v sebe na požadovaných miestach vyrezané závit M8.

Plechová stena

Najdôležitejšou časťou tohto pracoviska je pohyblivá stena. Stena je vyrobená z oceľového plechu, ktorý je uchytený na guľôčkovom lineárnom vedení o priemere 16 mm. Poloha a dĺžka lineárneho vedenia je navrhnutá tak, aby bolo o ňu možné opierať krabice požadovaných rozmerov pri ich umiestnení nad uzatváračom. Stena je uchytená na lineárnom vedení cez ploché rameno pomocou fixačného uholníka a cez pásoviny prizváranú na stene ktorá plechu dodáva stabilitu a pevnosť. Vystrčené rameno je tu z dôvodu oddialenia uchytenia lineárneho vedenia z pracovného priestoru. Pre overenie funkčnosti ramena je potrebné overiť napätie a priehyb v ramene. Po overení či rameno spĺňa prútové predpoklady sa napätie a priehyb počíta z rovníc (3) a (7).

Vstupné parametre:

| | |
|-------------------------|---|
| $L_r = 214 \text{ mm}$ | Dĺžka voľného ramena |
| $b = 50 \text{ mm}$ | Šírka ramena |
| $h = 5 \text{ mm}$ | Hrúbka ramena |
| $R_e = 235 \text{ MPa}$ | Medza klzu pre oceľ S235JR |
| $m_s = 12,2 \text{ kg}$ | Hmotnosť steny a namontovaných komponentov na konci ramena zistená z 3D modelu v programe Solid Edge 2019 |
| $s = 2 \text{ mm}$ | Vôľa medzi ramenom a uchytením tyče |
| $E = 210 \text{ GPa}$ | Modul pružnosti ocele v ťahu |

Pri výpočte ohybového napätia v nosníku sa vychádza zo vzťahu (3). Predpokladá sa zjednodušenie a to, že celá hmotnosť steny a uchytenia je sústredená na konci ramena. Jedná sa o konzervatívny prístup.

$$\sigma_{or} = \frac{M_{or}}{J_{yr}} \cdot e \quad (3)$$

Je potrebné poznať ohybový moment vyvolaný od zaťaženia na ramene

$$M_{or} = m_s \cdot g \cdot L_r \quad (4)$$

$$M_{or} = 12,2 \cdot 9,81 \cdot 214 = 25611,95 \text{ Nmm}$$

Vypočítaný moment je potrebné podeliť počtom ramien z dôvodu rozloženia zaťaženia

$$M_{or1} = \frac{25611,95}{2} = 12805,98 \text{ Nmm}$$

Kvadratický moment prierezu je daný vzťahom (5) pričom h je rozmer kolmý na neutrálnu plochu.

$$J_{yr} = \frac{h^3 \cdot b}{12} \quad (5)$$

$$J_{yr} = \frac{5^3 \cdot 50}{12} = 520,83 \text{ mm}^4$$

Dosadenie do rovnice (3) pre výpočet ohybového napätia na jedno rameno pričom e je vzdialenosť od neutrálnej osi, v našom prípade $h/2$.

$$\sigma_{or} = \frac{12805,98}{520,83} \cdot \frac{5}{2} = 61,47 \text{ MPa}$$

Bezpečnosť k medznému stavu pružnosti

$$k_r = \frac{R_e}{\sigma_{or}} \quad (6)$$

$$k_r = \frac{235}{61,47} = 3,823 \text{ VYHOVUJE}$$

Priehyb konca ramena sa vypočíta zo vzťahu (7) pre výpočet votknutého prutu zaťaženého silou. Vychádza sa z rovnakých predpokladov ako v predchádzajúcom výpočte.

$$w_r = \frac{F \cdot L_r^3}{3 \cdot E \cdot J_y} \quad (7)$$

Po úprave pre silu od hmotnosti na jedno rameno dostávame vzťah

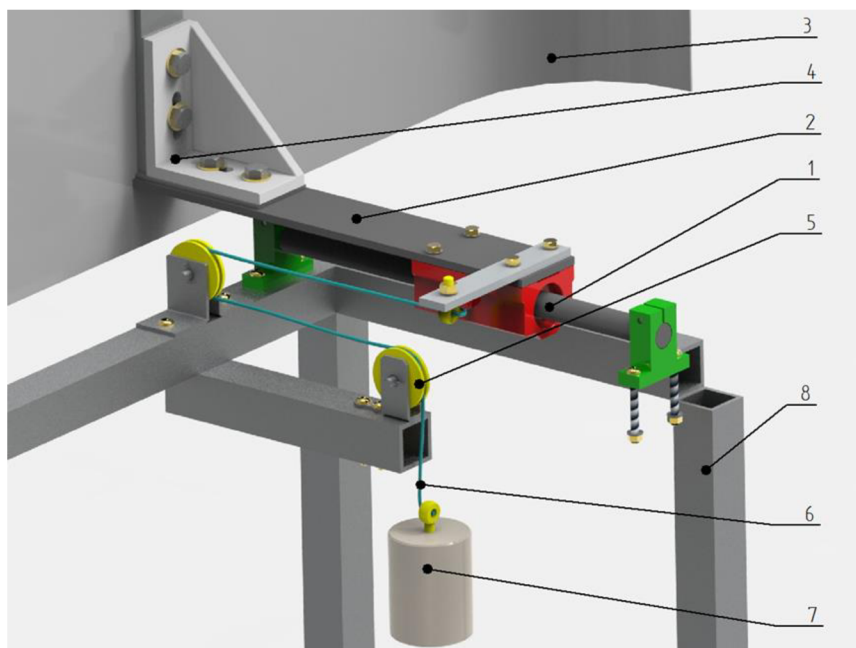
$$w_r = \frac{m_s \cdot g}{2} \cdot \frac{L_r^3}{3 \cdot E \cdot J_y}$$

$$w_r = \frac{12,2 \cdot 9,81}{2} \cdot \frac{(214 \cdot 10^{-3})^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 520,83 \cdot 10^{-12}} = 1,7873 \text{ mm}$$

$w_r < s$ VYHOVUJE

Z výpočtu nám vyšlo, že k vymedzeniu vôle nedôjde. V skutočnosti by bol priehyb nad uchytením tyče ešte menší pretože toto miesto je bližšie k väzbe. Z výpočtu bolo zistené, že môže byť použité rameno o priereze 50 x 5 mm.

Pre vzpriamenie krabice musí stena klásť odpor voči posunutiu a vracat' sa do pôvodnej polohy. Stena je ťahaná pomocou 1 kg závažia, ktoré je uchytené cez vodiace kladky na oceľovom lane k lineárnemu vedeniu. Ďalšou možnosťou by bolo použitie pružín umiestnených na lineárnom vedení ale z dôvodu obťažnosti výberu vhodnej pružiny pri zachovaní menších rozmerov pracoviska bol zvolený variant so závažím. Závažie ťahá stenu po celý čas konštantnou silou a v prípade potreby úpravy sily je možná ľahká zmena hmotnosti bremena. Celé prevedenie s popisom jednotlivých prvkov je možno vidieť na obr. 24.

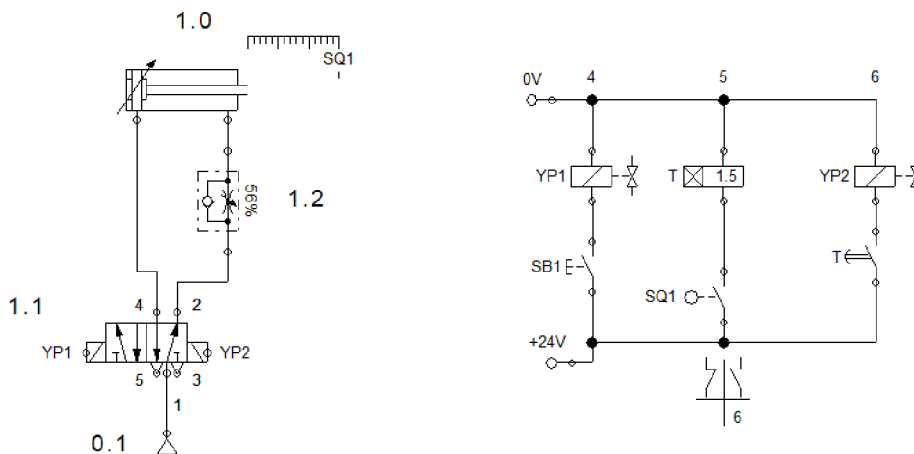


Obr. 24 Uloženie posuvnej steny na lineárnom vedení a spôsob vyvolania tlačnej sily

| | | | |
|---|------------------|---|------------------------|
| 1 | Lineárne vedenie | 5 | Kladka |
| 2 | Rameno | 6 | Oceľové lano |
| 3 | Plechová stena | 7 | Závažie |
| 4 | Uchytenie steny | 8 | Konštrukcia pracoviska |

Zošívania dna

Ďalším konštrukčným uzlom je zošívачka dna. Spôsob zošívania bol zvolený už vyššie a to v analýze problému. Konkrétny typ zošívачky bude teda E24 od firmy MEZGER Heftsysteme. Jej základné parametre sú taktiež uvedené vyššie. Pneumatická zošívачka bude riadená bistabilným 5/2 rozvázacím ventilom ovládaným elektricky (viď obr. 25), ktorý je pripojený na riadiaci systém robota z dôvodu synchronizácie úkonov. Uchytenie o rám je realizované pomocou montážnej skrutky umiestnenej na vrchu zošívачky.



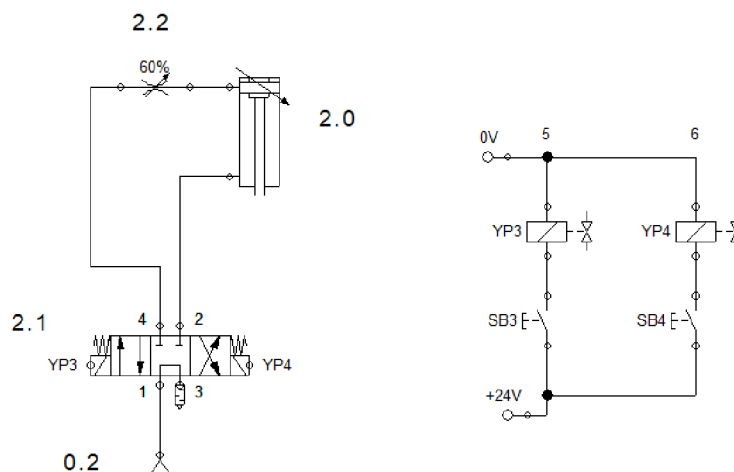
Obr. 25 Schéma zapojenia pneumatickej zošívачky E24 podľa odporúčaní od výrobcu. Pneumatická schéma (vľavo) a elektronické riadenie 5/2 ventilu (vpravo) vytvorené v programe FluidSIM 3.6

Popis prvkov k schéme zapojenia možno vidieť v nasledujúcej tabuľke (tab. 11)

Tab. 11 Popis prvkov pneumatickej zošívачky

| Označenie | Názov a popis |
|-----------|--|
| 0.1 | Zdroj stlačeného vzduchu 6 bar |
| 1.1 | Hlavný 5/2 rozvázací ventil ovládaný elektricky na ovládanie smeru pohybu zošívачky |
| 1.2 | Škrtiaci ventil s obtokovým ventilom na ovládanie rýchlosti vysúvania zošívачky |
| 1.0 | Zošívачka |
| SB1 | Znázornenie ovládania zošívачky. V realite to bude elektronický signál od riadiacej jednotky |
| YP1, YP2 | Pneumatické relé |
| SQ1 | Snímač koncovej polohy zošívачky, tj. dosiahnutie dna krabice |
| T | Časovač, pretože od výrobcu je požiadavka vyčkať po dosiahnutí pozície kartónu približne 1,5 s na prevedenie spoja |

Počas zošívania je potrebné pridržať chlopne spolu pre kompaktnjšie zošitie. Pridržiavanie dna je realizované teleskopickým PM so zdvihom 900 mm vybaveným prítlačným plechom na konci piestnej tyče. Teleskopický je z dôvodu zmenšenia zastavanej výšky a daný zdvih je zvolený vhodne tak, aby pod piest vošla najvyššia krabica so zloženým dnom a otvoreným vrchom. Zapojenie teleskopického PM je vidieť na obr. 26.



Obr. 26 Schéma zapojenia PM (vľavo) naznačenie riadenia 4/3 ventilu (vpravo) vytvorené v programe FluidSIM 3.6 od firmy Festo

Dodatočným zlepšením zapojenia by mohlo byť pridanie snímača polohy na piest aby nebolo nutné zasúvať a vysúvať piest pri každom posunutí krabice na iné miesto zošitia a tým skrátiť čas jedného cyklu a celkovú spotrebu vzduchu. Popis prvkov k schéme zapojenia možno vidieť v nasledujúcej tabuľke (tab. 12)

Tab. 12 Popis prvkov prítlačného PM

| Označenie | Názov a popis |
|-----------|---|
| 0.2 | Zdroj stlačeného vzduchu 6 bar |
| 2.1 | Hlavný 4/3 rozvádzač ventil ovládaný elektricky na ovládanie smeru pohybu PM |
| 2.2 | Škrtiaci ventil na ovládanie rýchlosti pohybu piestu |
| 2.0 | Dvojčinný priamočiary teleskopický PM |
| SB3, SB4 | Znázornenie ovládania smeru. Dole/Hore. V realite to bude elektronický signál |
| YP3, YP4 | Pneumatické relé |

Pri pridržiavaní dna plným tlakom od zdroja stlačeného vzduchu môže dôjsť k pretlačeniu jednotlivých vrstiev lepenky. Tento stav bol overený nižšie (10). Vychádzalo sa z nasledujúcich parametrov :

| | |
|-------------------------------|--|
| $p_1 = 0,6 \text{ MPa}$ | pracovný tlak v PM |
| $d_1 = 32 \text{ mm}$ | priemer menšieho piesta v teleskopickom PM |
| $p_{dov} = 500000 \text{ Pa}$ | max. dovolený tlak na najmenej pevnú vlnitú lepenku podľa Fefco [33] |
| $S_2 = 3600 \text{ mm}^2$ | plocha dotlačacieho plechu |

Plocha menšieho piestu vo valci, na ktorý bude tlačiť stlačený vzduch pri pridržíavaní dna, tzn. pri takmer plnom vysunutí

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad (8)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 32^2}{4} = 804,25 \text{ mm}^2$$

Pôsobením tlaku p_1 na piest sa vyvolá sila F_1 na piestnicu, ktorá pôsobí na dno krabice cez dotlačací plech. To vyvolá tlak p_2 na dno krabice, ktorý porovnáme s maximálnou dovolenou hodnotou

$$F_1 = F_2 \quad (9)$$

$$p_2 \cdot S_2 = p_1 \cdot S_1 \quad (10)$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot S_1}{S_2}$$

$$p_2 = \frac{0,6 \cdot 10^6 \cdot 804,25 \cdot 10^{-6}}{3600 \cdot 10^{-6}} = 134041,7 \text{ Pa}$$

$$p_2 < p_{dov} \text{ VYHOVUJE}$$

Z výpočtov nám vzišlo, že pri ponechaní maximálneho tlaku v systéme nedôjde k poškodeniu krabice pri pridržíavaní. Tým pádom nie je potrebné nijako obmedzovať tlak v systéme PM.

Spotreba vzduchu

Ďalším dôležitým parametrom je spotreba vzduchu. Na zistenie spotreby je treba previesť výpočet a určiť približnú dobu trvania jedného cyklu. Doba bola určená na základe rýchlosti robotických skladačiek z rešerše a z odhadu doby trvania zošívania a to na 9,5 s pri prevedení zošitia dna na 4 miestach.

Celková spotreba bude pozostávať zo spotreby ejektorov, zošívачky a zo spotreby teleskopického PM prepočítaná na jednu minútu.

Výpočet spotreby vzduchu ejektora:

Spotreba vzduchu odčítaná z dokumentácie ejektora z grafu, str. 19, pre zvolený ejektor pri pracovnom tlaku 6 bar je 11,5 l/min. [34]. Ejektori budú aktívne iba počas držania krabice tzn. od uchopenia krabice až po jej umiestnenie na dopravník. Z celkovej doby cyklu je táto doba približne určená na 8 s.

Východzie hodnoty:

$$t_c = 9,5 \text{ s}$$

Doba trvania jedného cyklu

$$t_{ec} = 8 \text{ s}$$

Aktívny čas ejektorov počas jedného cyklu

$$Q_e = 11,5 \text{ l/min}$$

Spotreba vzduchu ejektora pri pracovnom tlaku 6 bar

Najskôr bude vypočítané koľko cyklov sa vykoná za jednu minútu

$$n_c = \frac{60}{t_c} \quad (11)$$

$$n_c = \frac{60}{9,5} = 6,32 \text{ cyklov}$$

a koľko z toho času budú ejektori aktívne

$$t_{em} = n_c \cdot t_{ec} \quad (12)$$

$$t_{em} = 6,32 \cdot 8 = 50,56 \text{ s}$$

Z toho spotreba vzduchu dvomi ejektormi za jednu minútu pre danú realizáciu je

$$Q_{em} = 2 \cdot \frac{Q_e}{60} \cdot t_{em} \quad (13)$$

$$Q_{em} = 2 \cdot \frac{11,5}{60} \cdot 50,56 = 19,38 \text{ l/min}$$

Pri skladaní menších krabíc do 190 mm na šírku by spotreba vzduchu ejektormi bola polovičná z dôvodu neaktívnosti jedného z ejektorov pretože dve prísavky nebudú prekryté krabicou a budú neaktívne.

Výpočet spotreby vzduchu teleskopického PM:

Výpočet bol realizovaný na základe hodnôt od výrobcov PM pre rôzne prierezy piestov [35]. Keďže sa nepodarilo nájsť presné hodnoty spotreby vzduchu zvoleného teleskopického PM bude prevedený približný výpočet na základe spomenutých údajov a konštrukcie PM.

Vstupné údaje:

| | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| $D_{1s} = 50 \text{ mm}$ | Priemer prvého stupňa |
| $D_{2s} = 32 \text{ mm}$ | Priemer druhého stupňa |
| $D_{p1} = 42 \text{ mm}$ | Priemer piestnej tyče prvého stupňa |
| $D_{p2} = 16 \text{ mm}$ | Priemer piestnej tyče druhého stupňa |
| $L_s = 450 \text{ mm}$ | Dĺžka vysunutia jednotlivých stupňov |

Výpočet obsahu prvého stupňa

$$S_{1s} = \frac{\pi \cdot D_{1s}^2}{4} \quad (14)$$

$$S_{1s} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,5 \text{ mm}^2$$

obsah druhého stupňa

$$S_{2s} = \frac{\pi \cdot D_{2s}^2}{4} \quad (15)$$

$$S_{2s} = \frac{\pi \cdot 32^2}{4} = 804,25 \text{ mm}^2$$

obsah medzikružia pri zasúvaní stupňa jedna

$$S_{m1} = S_{1s} - \frac{\pi \cdot D_{p1}^2}{4} \quad (16)$$

$$S_{m1} = 1963,5 - \frac{\pi \cdot 42^2}{4} = 578,06 \text{ mm}^2$$

obsah medzikružia pri zasúvaní stupňa dva

$$S_{m2} = S_{2s} - \frac{\pi \cdot D_{p2}^2}{4} \quad (17)$$

$$S_{m2} = 804,25 - \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 603,19 \text{ mm}^2$$

Jednotlivé obsahy nájdeme v tabuľke (obr. 27) a odčítame spotrebu vzduchu pri tlaku 6 bar na 10 mm. Každý stupeň prejde dráhu 450 mm. Plocha pri zasúvaní sa sčíta a nájde sa v tabuľke najbližšia hodnota.

Spotreba vzduchu za jedno vysunutie a zasunutie:

$$Q_{pm} = (Q_{1s} + Q_{2s} + Q_{m12}) \cdot 45 \quad (18)$$

$$Q_{pm} = (0,137 + 0,056 + 0,07) \cdot 45 = 11,835 \text{ l/mm}$$

Počas jedného cyklu vykoná PM 4 krát výsuv a zásuv a v jednej minúte je vykonaných 6,32 cyklov podľa (11).

$$Q_{pmm} = 4 \cdot n_c \cdot Q_{pm} \quad (19)$$

$$Q_{pmm} = 4 \cdot 6,32 \cdot 11,835 = 299,19 \text{ l/min}$$

Do celkovej spotreby vzduchu je potrebné ešte započítať spotrebu pneumatickej zošívачky, ktorá vykoná 4 zošitia behom jedného cyklu skladania

$$Q_z = 2,8 \text{ l} \quad \text{Spotreba vzduchu pri jednom zošití zošívачkou Mezger E24 [36]}$$

$$Q_{zm} = 4 \cdot n_c \cdot Q_z \quad (20)$$

$$Q_{zm} = 4 \cdot 6,32 \cdot 2,8 = 70,78 \text{ l/min}$$

Celková spotreba vzduchu je teda súčtom spotreby ejektorov, PM a zošívачky

$$Q_c = Q_{em} + Q_{pmm} + Q_{zm} \quad (21)$$

$$Q_c = 19,38 + 299,19 + 70,78 = \mathbf{389,35 \text{ l/min}}$$

Celková spotreba vzduchu by sa dala znížiť najmä nezasúvaním PM do základnej polohy medzi polohami zošitia na jednej krabici ako bolo spomínané vyššie. Ďalšou možnosťou je použiť drahší ejektor vybavený spätnou klapkou a snímačom podtlaku. Tento ejektor by nebol v chode po celú dobu ale iba pri poklese podtlaku.

| Průměr pístu [mm] | Plocha pístu [mm ²] | | Pracovní přetlak [MPa] | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|----|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 8 | 50 | qp | 0,0010 | 0,0015 | 0,0020 | 0,0025 | 0,0030 | 0,0035 | 0,0040 |
| | 38 | qz | 0,0007 | 0,0011 | 0,0015 | 0,0019 | 0,0023 | 0,0026 | 0,0030 |
| 10 | 79 | qp | 0,0015 | 0,0024 | 0,0031 | 0,0039 | 0,0047 | 0,0055 | 0,0063 |
| | 66 | qz | 0,0013 | 0,0020 | 0,0026 | 0,0033 | 0,0040 | 0,0046 | 0,0053 |
| 12 | 113 | qp | 0,0023 | 0,0034 | 0,0045 | 0,0056 | 0,0067 | 0,0078 | 0,0089 |
| | 90 | qz | 0,0018 | 0,0027 | 0,0036 | 0,0045 | 0,0054 | 0,0063 | 0,0072 |
| 16 | 200 | qp | 0,004 | 0,006 | 0,008 | 0,01 | 0,012 | 0,014 | 0,016 |
| | 170 | qz | 0,0034 | 0,0051 | 0,0068 | 0,0085 | 0,012 | 0,0119 | 0,0136 |
| 20 | 314 | qp | 0,0063 | 0,0094 | 0,0126 | 0,0157 | 0,0188 | 0,022 | 0,0251 |
| | 260 | qz | 0,0052 | 0,0078 | 0,0104 | 0,013 | 0,0156 | 0,0182 | 0,0208 |
| 25 | 491 | qp | 0,0098 | 0,0147 | 0,0196 | 0,0245 | 0,0295 | 0,0344 | 0,0393 |
| | 410 | qz | 0,0082 | 0,0123 | 0,0164 | 0,0205 | 0,0246 | 0,0287 | 0,0328 |
| 32 | 804 | qp | 0,016 | 0,024 | 0,032 | 0,04 | 0,048 | 0,056 | 0,064 |
| | 691 | qz | 0,014 | 0,021 | 0,028 | 0,035 | 0,042 | 0,049 | 0,056 |
| 40 | 1256 | qp | 0,025 | 0,038 | 0,05 | 0,063 | 0,076 | 0,088 | 0,1 |
| | 1002 | qz | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| 50 | 1963 | qp | 0,039 | 0,059 | 0,079 | 0,089 | 0,118 | 0,137 | 0,157 |
| | 1708 | qz | 0,034 | 0,051 | 0,068 | 0,085 | 0,102 | 0,12 | 0,137 |

Obr. 27 Tabuľka spotreby v litroch na 10 mm zdvihu pre jednotlivé plochy [35]

Konštrukcia

Nosný rám, o ktorý sú prizvárané, prípadne priskrutkované prípravky, je tvorený z oceľových štvorcových normalizovaných trubiek o rozmere 30x30x3 mm. Naspodku konštrukcie sú pripravené pätky, pomocou ktorých sa dá zariadenie priskrutkovať k zemi prípadne len položiť.

Potrebná nosnosť PR

Po navrhnutí všetkých komponentov je možné spočítať potrebnú nosnosť robota, ktorý bude použitý na manipuláciu s krabicami.

Vstupnými parametrami bude celková hmotnosť efektora, hmotnosť krabice a silový účinok od posuvnej steny so závažím. Po vypočítaní všetkých silových účinkov, bude určená celková sila pôsobiaca na rameno robota.

$m_e = 1,6 \text{ kg}$ Hmotnosť efektora

$m_k = 1,5 \text{ kg}$ Hmotnosť najväčšej krabice

$m_z = 1 \text{ kg}$ Hmotnosť závažia steny

Sila od hmotnosti efektora

$$F_e = m_e \cdot g \quad (22)$$

$$F_e = 1,6 \cdot 9,81 = 15,696 \text{ N}$$

sila od hmotnosti krabice

$$F_k = m_k \cdot g \quad (23)$$

$$F_k = 1,5 \cdot 9,81 = 14,715 \text{ N}$$

sila od posuvnej steny

$$F_z = m_z \cdot g \quad (24)$$

$$F_z = 1 \cdot 9,81 = 9,81 \text{ N}$$

Sila od efektora a od krabice pôsobí smerom nadol a sila od posuvnej steny pôsobí kolmo na tieto sily. Výsledná sila na rameno robota (25) sa teda vypočíta pomocou Pytagorovej vety

$$F_r = \sqrt{(F_e + F_k)^2 + F_z^2} \quad (25)$$

$$F_r = \sqrt{(15,696 + 14,715)^2 + 9,81^2} = 31,954 \text{ N}$$

Z výpočtu vyšlo, že pre danú aplikáciu bude potrebné použiť robot z triedy 5 kg nosností. Prípadne pri lepšej optimalizácii a odľahčení efektora a voľbe ľahších materiálov by bolo možné použiť aj robot s nosnosťou 3 kg.

9 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

V nasledujúcej kapitole sú rozobraté približné náklady nakupovaných a vyrábaných komponent a cena montáže jedného kusu efektora a navrhnutého pracoviska. Na záver bude porovnaná cena daného riešenia s obdobnými skladačkami krabíc.

V nasledujúcej tabuľke (tab. 13) sú uvedené približné ceny jednotlivých komponent efektora a v tab. 14 sú uvedené náklady na pracovisko.

Tab. 13 Odhadovaná cena jednotlivých komponentov efektora

| Názov dielu | Počet [ks / m] | Odhadovaná cena [EUR] za kus |
|-------------------------------------|----------------|------------------------------|
| Prísavky ESG-30-SS-HB-QS | 4 | 10,11 |
| Pneumatická nástrčná spojka T-kus | 2 | 0,6 |
| Hliníkový profil 20x20 | 1 | 4 |
| Ejektor VN-05-H-T3-PQ2-VQ2-RO1-B | 2 | 128,5 |
| Pneumatická hadička PAN-6X1-GE /50m | 1 | 107 |
| Hliníková pásovina | 1 | 3,5 |
| Plech efektora | 1 | 6 |
| Pripojovací plech | 1 | 7 |
| Príchytka hadičky | 3 | 0,2 |
| Guľôčková dopravná jednotka | 2 | 6 |
| Matica M5 | 4 | 0,03 |
| Podložka M4 | 2 | 0,01 |
| Podložka poistná M5 | 16 | 0,01 |
| Skrutka 6-hran M5x10 | 8 | 0,14 |
| Skrutka 6-hran M5x12 | 4 | 0,14 |
| Skrutka zápusťná M5x16 | 4 | 0,15 |
| Skrutka imbusová M4x35 | 2 | 0,14 |
| Distančný stĺpik | 2 | 0,15 |
| Skrutka imbusová M3x24 | 4 | 0,1 |
| T-matica M4 | 3 | 0,2 |
| T-matica M5 | 8 | 0,2 |
| Montáž | 1 | 10 |
| Celková cena efektora | | 454,5 |

Tab. 14 Odhadovaná cena jednotlivých komponentov pracoviska

| Názov dielu | Počet [ks / m] | Odhadovaná cena [EUR] za kus |
|---|----------------|------------------------------|
| Zošívačka | 1 | 800 |
| Závažie | 1 | 2 |
| Kladka | 2 | 4 |
| Oceľové lano | 2 | 1,5 |
| Plech stola | 1 | 12 |
| Plech na uzatváranie | 1 | 12 |
| Ohýbacia trúbka | 2 | 9 |
| Teleskopický PM | 1 | 280 |
| Lineárne vedenie 16 komplet | 2 | 49 |
| Vzpera steny | 2 | 1 |
| Uholník | 2 | 1,5 |
| Plechová stena | 1 | 30 |
| Oceľová konštrukcia (20m profil 30x30x3, rez 35 krát, pätky) | 1 | 150 |
| Spojovací materiál | 1 | 6 |
| Montáž | 1 | 300 |
| Celková cena pracoviska | | 1711 |

Cena efektora a pracoviska je v súčte približne 2165 €. Do celkovej ceny je potrebné ešte započítať cenu PR, program pre celý proces, vývoj produktu, zavedenie zariadenia do prevádzky a riadiace prvky pre PM a zošívačku. Odhad ceny kompletného riešenia je približne 31100 €. Najdrahšie na celom prevedení bez dodatočných nákladov boli pneumatikové komponenty od prísaviek po PM. Veľkú časť ceny tvorí taktiež aj pneumatiková zošívačka dna krabice. V porovnaní ceny s hotovým riešením vzpriamovača krabíc F144/4 DX od firmy SIAT, ktoré spája dno pomocou pásky sa cena pohybuje okolo 33 000 €. Cena je po zarátaní spomenutých dodatočných nákladov nezahrnutých v tejto práci o niečo nižšia. Pracovisko s PR ale prináša veľké výhody oproti iným typom pracovísk.

10 ZÁVER

V prvej časti bakalárskej práce bol popísaný súčasný stav poznania v oblasti skladania kartónových krabíc. Boli spomenuté štyri spôsoby skladania krabíc, ktoré sa líšili prevedením skladania a polotovarom krabice, ktorý používajú. Pri každom spôsobe boli popísané základné parametre troch rôznych strojov a to rýchlosť skladania, rozmery možných krabíc a zástavový rozmer. V tejto časti bol popísaný aj obdobný spôsob skladania krabíc PR aký bol navrhnutý v tejto práci. Následne bol vykonaný krátky prehľad typov koncových efektorov.

V druhej časti práce boli prejednané spôsoby riešenia širších konštrukčných oblastí s ohľadom na požiadavky zadania a to rozsah rozmerov skladaných krabíc, spôsob zošívania dna, výber najvhodnejšieho uchopovania krabíc a základné požiadavky na PR.

V ďalšej časti boli navrhnuté dva varianty efektora a pracoviska, ktoré umožní po uchytení krabice efektorom poskladať a zošiť dno. Do práce bol nad rámec zadania zahrnutý aj spomínaný návrh pracoviska, a to z dôvodu neefektívnosti a príliš veľkej zložitosti skladania iba s použitím koncového efektora. Z týchto dvoch variant bol pomocou multikriteriálnej analýzy vybraný variant B s posuvnou stenou, vďaka ktorej je robot schopný skladať rôzne rozmery krabíc za použitia jednoduchého efektora. Výber variantu B je hlavne z dôvodu väčšej rýchlosti skladania, jednoduchšej konštrukcie efektora a tým aj nižšej hmotnosti a väčšieho rozsahu rozmerov krabíc. Ďalším dôvodom voľby je to, že zvolená metóda ešte nebola na trhu realizovaná a prináša nový spôsob skladania krabíc pomocou PR.

Nasledoval podrobnejší rozbor a návrh zvoleného variantu s potrebnými výpočtami. Po navrhnutí všetkých komponentov a overení ich funkčnosti bola spočítaná sila pôsobiaca na efektor a na základe toho vybraná váhová kategória PR. Sila na rameno robota je o niečo vyššia ako 30 N. Lepšou optimalizáciou efektora a výberom vhodnejších materiálov by bolo možné ušetriť hmotnosť efektora a znížiť nároky na robota. V tejto časti bola vypočítaná aj celková spotreba vzduchu za jednu minútu chodu pracoviska, ktorá činí približne 0,4 m³/min. Vypočítanú spotrebu je možno úpravami znížiť približne o tretinu a to voľbou vyššej triedy efektora a nezasúvaním teleskopického PM až do počiatočnej polohy pri zošívaní. Zavedenie týchto opatrení by si vyžadovalo detailnejšie ekonomické zhodnotenie na základe reálnej aplikácie.

Na záver bolo vykonané približné ekonomické zhodnotenie nakupovaných a vyrábaných súčastí. Odhad celkovej ceny po započítaní všetkých nákladov je 31 100 €, čo je pri vzhladnutí výhod skladania krabíc pomocou PR pomerne nízka cena.

Výstupom návrhu koncového efektora a pracoviska je kompletná 3D dokumentácia a kompletná výkresová dokumentácia koncového efektora a jeho výkres zostavy v programe Solid Edge 2019, ktorá môže byť podkladom pre realizáciu zariadenia.

V prípade realizácie tohto zariadenia by bolo potrebné zhotoviť výkresovú dokumentáciu pracoviska a previesť simuláciu skladania na overenie plnej funkčnosti všetkých komponentov.

11 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] C300, Horizontal cartoning machines. *Cariba beyond packaging* [online]. Sasso Marconi - BOLOGNA: CARIBA, 2010 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: https://www.cariba.it/en/machines_range/horizontal_cartoning_machines/c300/2-8-4-d
- [2] MPAC LANGEN. *VENTO: Hygienic Continuous cartoner*. [online]. Coventry, 2019. Dostupné také z: <https://mpac-group.com/wp-content/uploads/2019/03/Technical-Product-Sheet-VENTO.pdf>
- [3] Continuous motion cartoner C300. In: *Youtube* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Pq797iBcX8E>
- [4] Langen Group's VENTO Cartoner ... In: *Youtube* [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-HtFD5x8k64>
- [5] Criterion® CM-600: End load cartoner. *R.A Jones* [online]. Wilmington, Delaware: R.A Jones, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.rajones.com/en/solutions/product/criterion-cm600>
- [6] *TRAYFECTA® S Series Former*. St. Paul, 2019. Dostupné také z: <https://www.delkorsystems.com/sites/default/files/Delkor%20Trayfecta%20S%20Series%20Overview.pdf>
- [7] ZK 760 Full Automatic Rigid Box Folding Machine. In: *Youtube* [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=WHnHVsqkL8>
- [8] Tray former Automatic box folding machine. In: *Youtube* [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=g0BJokVkz4w>
- [9] A CARTONING MACHINE. In: *Delkor Systems* [online]. Minnesota: Delkor Systems, 2019 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.delkorsystems.com/cartoning-machine>
- [10] *TRF 2000: Automatic box and tray forming machine*. [online]. Schio, 2017, [cit. 2019-04-13]. Dostupné také z: https://www.imanpack.com/Allegati/Linea%20scatoleTRF_EN_formatrici_05_2017.pdf
- [11] X PAK USA. *Imanpack Packaging: Tray former*. [online]. New Jersey, 2006, [cit. 2019-04-13]. Dostupné také z: https://img.sigmaequipment.com/equipment-docs/50076/Tray_Former_XP-F4000.pdf
- [12] Lantech Inline Case Erector. In: *Youtube* [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_IjDi_ny50
- [13] Youngsun CF20TX XL: Case Erector. In: *Youtube* [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Xmrz4Kf_Wfk

- [14] COMBI PACKAGING SYSTEMS LLC. *2-EZ® HS: High Speed Case Erectors*. [online]. Ohio, 2018. Dostupné také z: <https://www.combi.com/Content/uploads/Combi-2-EZ-SB-HS-Sell-Sheet-1994.pdf>
- [15] ENDOLINE MACHINERY LIMITED. *211: Fully-automatic case erector*. [online]. Biggleswade, 2017. Dostupné také z: <https://www.endoline-automation.com/machine-pdfs/endoline-automation-211-Elce.pdf>
- [16] SIAT. *F44: Automatic case erectors*. [online]. Turate, Como, 2018. Dostupné také z: https://siat.com/wp-content/uploads/2014/04/F44_F144_F344.pdf
- [17] X PACK. ROBOX™: Robotic case erector. [online]. New Jersey, 2018. Dostupné také z: <https://static1.squarespace.com/static/5b588f6a1aef1da2156b3fcb/t/5bbb91c39140b7c72ed41b0d/1539019208643/XPAK+-ROBOX+ABB+Robotic+Case+Erector+2018+-+Rev00.pdf>
- [18] Combi RCE: Random Case Erector installed by SWS Packaging. In: Youtube [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=9-W9gfCtZhE>
- [19] XPAK Cobox UR10e. In: Youtube [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=nxTrXCpks78>
- [20] Robot - ukázka skládání krabice. In: Youtube [online]. b.r. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-Xuc3orb9Co>
- [21] X PACK USA. *Cobox: XP-E3000RC*. [online]. New Jersey, 2018. Dostupné také z: <https://www.xpakusa.com/coboxx>
- [22] COMBI PACKAGING SYSTEMS LLC. *Robotic Random Case Erector*. [online]. Ohio, 2018. Dostupné také z: <https://www.combi.com/Content/uploads/Combi-RCE-Sell-Sheet-444.pdf>
- [23] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [24] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory: učební text*. První vydání. VŠB – Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [25] Collaborative Robot Grippers. In: *Robotics online* [online]. Michigan: Robotic Industries Association, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Emergence-of-Smart-Collaborative-Robot-Grippers/107>
- [26] Magnetic grippers. *Goudsmit Magnetics Group* [online]. Waalre: GOUDSMIT MAGNETICS, 2015 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/industrial-magnetic-systems/magnetic-handling/robot-end-of-arm-tooling/magnetic-grippers>

- [27] 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.
- [28] 8011 KIT-UR-V: Vacuum Gripper for Universal Robots. In: *EMI* [online]. Ohio: EMI Corporation, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/KIT%2BUR%2BV/8011-KIT-UR-V-Vacuum-Gripper-for-Universal-Robots/>
- [29] Portable Spot Welding Gun. *Welding Process Industrial* [online]. Taichung City: Welding Process Industrial, 2018 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.wpitaiwan.com/product/suspended-portable-spot-welding/MFDC-inverter-gun.html>
- [30] Kartonová krabice: 300x200x200 5VVL klopová. In: *Eobaly* [online]. Hradec Králové: Quijote, 2014 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.eobaly.cz/kartonova-krabice-300x200x200-5vvl-klopova.htm>
- [31] *Vakuové přísavky ESG*. 2016. Dostupné také z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESG_CZ.PDF
- [32] FESTO. *Vacuum component selection 3.22.2.18*. [software]. [přístup 31. marca 2019]. b.r. Dostupné také z: https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Details/8364/Document.aspx
- [33] *CLASSIFICATION FOR CONVERTED CORRUGATED BOARD AND CONTROL PROCEDURE*. První vydání. Brusel: Fefco, 1987. Dostupné také z: <http://www.fefco.org/sites/default/files/files/FEFCO-Classification-qualite%CC%81s-Doc-022017.pdf>
- [34] FESTO. *Vakuové ejektory VN*. 2016. Dostupné také z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VN_CZ.PDF
- [35] Spotřeba stlačeného vzduchu. *Stránský a Petržík: Pneumatické prvky* [online]. Bílá Třemešná: Stránský a Petržík, 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/technicke-informace-spotreba/>
- [36] E 24: Blindstapling Head for coiled staples. In: *MEZGER Heftsysteme: Fastening with Staples* [online]. Norimberg: MEZGER Heftsysteme, 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: https://mezger.eu/index.php/rollenklammern_heftkoepfe_en/e_24.html
- [37] Lantech: Lantech Stretch Wrappers and Case Equipment. In: *Lantech: Lantech Stretch Wrappers and Case Equipment* [online]. Jeffersontown: Lantech, 2019 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.lantech.com/case-equipment/case-erector/c-1000?region=1>
- [38] Hot Melt: Adhesive Material. In: *Graco* [online]. Minnesota: Graco, 2019 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.graco.com/bs/en/products/materials/hot-melts.html>

- [39] Dekka Stainless-Steel Tape Heads. In: *Wexxar Bel* [online]. Richmond, Kanada: Wexxar Packaging, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.wexxar.com/products/stainless-steel-tape-heads-dekka/>
- [40] Case 0201. In: *Josef Kihlberg* [online]. Josef Kihlberg, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://kihlberg.com/en/staplinghandbook/case-0201/>

12 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

12.1 Zoznam skratiek a symbolov

| Skratka | Význam | Jednotka |
|------------------|---|---------------------|
| μ | Súčiniteľ trenia medzi krabicou a prísavkou | [-] |
| a | Zrýchlenie pohybu efektora | [m/s ²] |
| b | Šírka ramena | [mm] |
| d ₁ | Priemer menšieho piesta v teleskopickom PM | [mm] |
| D _{1s} | Priemer prvého stupňa teleskopického PM | [mm] |
| D _{2s} | Priemer druhého stupňa teleskopického PM | [mm] |
| D _{p1} | Priemer piestnej tyče prvého stupňa | [mm] |
| D _{p2} | Priemer piestnej tyče druhého stupňa | [mm] |
| E | Modul pružnosti ocele v ťahu | [GPa] |
| F ₁ | Sila na piestnej tyči zo strany tlakového vzduchu | [N] |
| F ₂ | Sila na piestnej tyči zo strany pridrživacej plochy | [N] |
| F _e | Sila na rameno robota od hmotnosti efektora | [N] |
| F _H | Potrebná úchopná sila prísaviek pre uchopenie krabice | [N] |
| F _k | Sila na rameno robota od hmotnosti krabice | [N] |
| F _r | Výsledná sila na rameno robota | [N] |
| F _U | Potrebná úchopná sila jednej prísavky | [N] |
| F _z | Sila na rameno robota od posuvnej steny | [N] |
| g | Gravitačné zrýchlenie | [m/s ²] |
| h | Hrúbka ramena steny | [mm] |
| J _{yr} | Kvadratický moment prierezu ramena | [mm ⁴] |
| k _r | Bezpečnosť ramena k medznému stavu pružnosti | [-] |
| L _r | Dĺžka voľného konca ramena | [mm] |
| L _s | Dĺžka výsuvu jednotlivých stupňov teleskopického PM | [mm] |
| m _e | Hmotnosť efektora | [kg] |
| m _k | Hmotnosť najväčšej krabice | [kg] |
| M _{or} | Ohybový moment oboch ramien steny spolu | [Nm] |
| M _{or1} | Ohybový moment jedného ramena steny | [Nm] |
| m _s | Hmotnosť steny | [kg] |
| m _z | Hmotnosť závažia steny | [kg] |
| n _c | Počet cyklov skladania za jednu minútu | [-] |
| n _p | Počet prísaviek | [-] |
| p ₁ | Pracovný tlak v teleskopickom PM | [Mpa] |
| p _{dov} | Max. dovolený tlak na najmenej pevnú vlnitú lepenku | [Pa] |
| PM | Pneumotor | [-] |

| | | |
|---------------|---|--------------------|
| PR | Priemyselný robot | [-] |
| Q_{1s} | Spotreba vzduchu PM pri jednom vysunutí prvého stupňa | [l/mm] |
| Q_{2s} | Spotreba vzduchu PM pri jednom vysunutí druhého stupňa | [l/mm] |
| Q_c | Celková spotreba vzduchu | [l/min] |
| Q_e | Spotreba vzduchu ejektora pri pracovnom tlaku 6 bar | [l/min] |
| Q_{em} | Spotreba vzduchu dvomi ejektormi za jednu minútu chodu pracoviska | [l/min] |
| Q_{m12} | Spotreba vzduchu PM pri jednom zasunutí | [l/mm] |
| Q_{pm} | Spotreba vzduchu PM za jedno vysunutie a zasunutie | [l/mm] |
| Q_{pmm} | Spotreba vzduchu PM za jednu minútu chodu pracoviska | [l/min] |
| Q_z | Spotreba vzduchu zošívачky pri jednom zošití | [l] |
| Q_{zm} | Spotreba vzduchu zošívачky za jednu minútu chodu pracoviska | [l/min] |
| R_e | Medza klzu pre oceľ S235JR | [MPa] |
| S | Koeficient bezpečnosti pre prísavky | [-] |
| s | Vôľa medzi ramenom steny a lineárnym vedením | [mm] |
| S_1 | Plocha piestu druhého stupňa v PM | [mm ²] |
| S_{1s} | Plocha piestnice prvého stupňa PM | [mm ²] |
| S_2 | Plocha dotlačacieho plechu PM | [mm ²] |
| S_{2s} | Plocha piestnice druhého stupňa PM | [mm ²] |
| S_{m1} | Plocha medzikružia pri zasúvaní stupňa jedna PM | [mm ²] |
| S_{m2} | Plocha medzikružia pri zasúvaní stupňa dva PM | [mm ²] |
| t_c | Doba trvania jedného cyklu | [s] |
| t_{ec} | Aktívny čas ejektorov počas jedného cyklu | [s] |
| t_{em} | Čas zopnutia ejektorov behom jednej minúty chodu pracoviska | [s] |
| w_r | Priehyb konca ramena steny | [mm] |
| σ_{or} | Ohybové napätie v ramene steny | [MPa] |

12.2 Zoznam tabuliek

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Základné parametre vybraných kontinuálnych skladačiek krabíc, zľava [1] [2] [5]..... | 19 |
| Tab. 2 Základné parametre vybraných pretlačacích skladačiek krabíc, zľava [6] [10] [11] ... | 20 |
| Tab. 3 Základné parametre vybraných strojov na vzpriamovanie a uzatváranie dna krabíc, zľava [14] [15] [16] | 21 |
| Tab. 4 Základné parametre vybraných robotických skladačiek krabíc, zľava [17] [21] [22] .. | 22 |
| Tab. 5 Rozsah možných rozmerov pre daný stroj | 28 |
| Tab. 6 Max a min rozmery krabíc rôznych strojov | 28 |
| Tab. 7 Zvolené rozmery krabíc..... | 28 |
| Tab. 8 Prehľad kritérií pre zhodnotenie variantov..... | 36 |
| Tab. 9 Slovné vyhodnotenie a bodové hodnotenie jednotlivých variantov..... | 36 |
| Tab. 10 Prehľad základných parametrov návrhu..... | 37 |
| Tab. 11 Popis prvkov pneumatickej zošívачky | 42 |
| Tab. 12 Popis prvkov prítlačného PM | 43 |
| Tab. 13 Odhadovaná cena jednotlivých komponentov efektora | 49 |
| Tab. 14 Odhadovaná cena jednotlivých komponentov pracoviska | 50 |

12.3 Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Cariba C300 [1] | 18 |
| Obr. 2 vzpriamenie krabice (vľavo), umiestnenie na dopravníkový pás (vpravo) [3]..... | 18 |
| Obr. 3 Skladanie krabíc pretláčaním cez formu [9]..... | 19 |
| Obr. 4 C-1000 Case Erector Lantech [37] | 20 |
| Obr. 5 Skladanie krabíc pomocou PR [17] | 21 |
| Obr. 6 Aktívny mechanický úchopný prvok [25] | 24 |
| Obr. 7 Princíp činnosti aktívneho magnetického prvku s permanentným magnetom, upravené z [26]..... | 24 |
| Obr. 8 Aktívne podtlakové prísavky so spoločným zdrojom vákua umiestené na koncovom efektore [28]..... | 25 |
| Obr. 9 Technologický ejektor pre bodové odporové zváranie [29] | 26 |
| Obr. 10 Výsledok procesu [30] | 27 |
| Obr. 11 Východzí tvar skladanej krabice [30] | 28 |
| Obr. 12 Lepiaca pásková hlava (vrchná) [39]..... | 29 |
| Obr. 13 Nanášanie tavného lepidla [38] | 30 |
| Obr. 14 Zošíťé dno kovovými sponami [40]..... | 30 |
| Obr. 15 Spôsob zošívania bez vniknutia do krabice [36] | 31 |
| Obr. 16 Popis koncového efektora, variant A | 32 |
| Obr. 17 Popis komponentov pracoviska A | 33 |
| Obr. 18 Ukážka spôsobu pridržania dna krabice | 34 |
| Obr. 19 Popis koncového efektora, variant B | 34 |
| Obr. 20 Popis komponentov pracoviska B | 35 |
| Obr. 21 Finálny návrh pracoviska s efektorom..... | 37 |
| Obr. 22 Finálna podoba koncového efektora | 37 |
| Obr. 23 Rozvrhnutie robotického pracoviska | 39 |
| Obr. 24 Uloženie posuvnej steny na lineárnom vedení a spôsob vyvolania tlačnej sily | 41 |
| Obr. 25 Schéma zapojenia pneumatickej zošívачky E24 podľa odporúčaní od výrobcu. Pneumatická schéma (vľavo) a elektronické riadenie 5/2 ventilu (vpravo) vytvorené v programe FluidSIM 3.6 | 42 |
| Obr. 26 Schéma zapojenia PM (vľavo) naznačenie riadenia 4/3 ventilu (vpravo) vytvorené v programe FluidSIM 3.6 od firmy Festo | 43 |
| Obr. 27 Tabuľka spotreby v litroch na 10 mm zdvihu pre jednotlivé plochy [35] | 47 |

13 ZOZNAM PRÍLOH

13.1 Vytlačené prílohy

Výkresová dokumentácia:

| | | |
|-------------|-------------------|----------------|
| 3-BP-01/1 | Pripojovací plech | Výrobný výkres |
| 3-BP-01/2 | Plech efektora | Výrobný výkres |
| 4-BP-01/3 | Pásovina prísavky | Výrobný výkres |
| 2-BP-01/00 | Efektor | Výkres zostavy |
| 2-BP-01/00K | Efektor | Kusovník |

13.2 Prílohy v elektronickej podobe

Príloha 1: 3D dokumentácia finálnej podoby efektora a pracoviska

Príloha 2: Výkresová dokumentácia koncového efektora