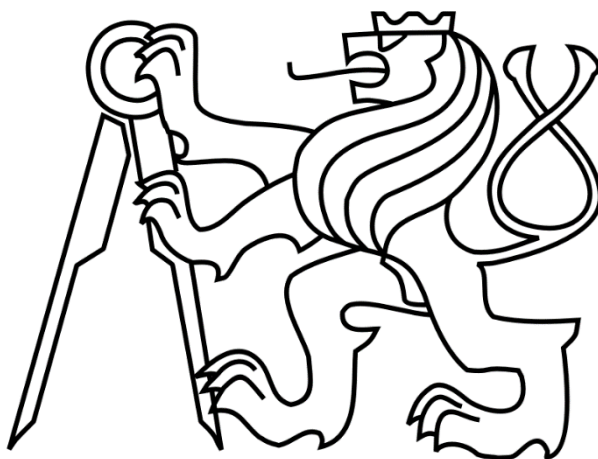


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalárska práca

Automatizácia montáže tesniacich krúžkov do plastového potrubia

2022

Martin Hajdúšek

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hajdúšek** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **492647**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Automatizace vkládání těsnících kroužků do plastového potrubí

Název bakalářské práce anglicky:

Automation of inserting sealing rings into plastic pipes

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Konstrukční návrh jednoúčelového zařízení, které řeší problematiku vkládání pryžového těsnění do plastového potrubí. Těsnění má profilový příčný průřez, je vyrobené z materiálu SBR (EN 681 -1). Uvedené elastomerové těsnění bude vkládáno do odpadního potrubí (EN 13476-2) v průměrech od DN 110 do DN 200. Rozsah těsnění: BL 110, BL 125, BL 160, BL 200, rozsah vyráběných průměrů potrubí: DN 110, DN 125, DN 160, DN 200, rozsah délek vyráběných potrubí: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0 m. Navržené jednoúčelové zařízení dle zadání bude umístěno na stávajícím koncovém pracovišti výrobní linky v blízkosti robotické balicí linky. Osnova práce: Uvedení do řešené problematiky; provedení rešerše; návrh řešení; návrhové výpočty; zhodnocení. Rozsah grafické části: Potřebné obr., tab., graf., 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníků, výrobní výkresy dle upřesněného zadání. Rozsah textové části: cca 40 – 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

[1] WOLF, Andreas a Henrik SCHUNK. Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks. Cincinnati: Hanser Publications, [2018]. ISBN 978-1-56990-714-6; [2] GUROCAK, Hakan. Industrial Motion Control: Motor Selection, Drives, Controller Tuning, Applications. 1. John Wiley & Sons, Incorporated, [2015]. ISBN 978-1-11840-321-1; [3] STN EN 13476-2+A1:2020-11 Potrubní systémy z plastov pre beztlakové kanalizačné potrubia a stoky uložené v zemi. Časť 2: Špecifikácie rúr a tvaroviek s hladkým vnútorným a vonkajším povrchom a systému, typ A

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Automatizácia montáže tesniacich krúžkov do plastového potrubia“ vypracoval samostatne a že som náležitosti týkajúce sa všetkých informačných zdrojov uviedol v priloženom zozname literatúry v súlade s Metodickým pokynom o dodržovaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác, vydaným ČVUT v Prahe dňa 1.7.2009.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohto školského diela v zmysle § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa:

Podpis:

Podakovanie

Týmto by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Vladimírovy Andrlíkovej, CSc. za cenné rady, odbornú pomoc, čas a vedenie pri vypracovávaní tejto bakalárskej práce.

Anotácia

Autor:	Martin Hajdúšek
Názov BP:	Automatizácia montáže tesniacich krúžkov do plastového potrubia
Rozsah práce:	58 str., 52 obr., 6 tab.
Školský rok vyhotovenia:	2022
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedúci bakalárskej práce:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Zadávatel:	Nitrawex s.r.o
Využitie:	Automatické vkladanie tesniacich krúžkov do potrubí
Kľúčové slová:	Automatizácia, manipulácia, modulárna konštrukcia
Anotácia:	Bakalárska práca sa zaoberá kompletným návrhom a vývojom jednéhoúčelového zariadenia na automatické vkladanie elastomérových tesnení rôznych priemerov do potrubí v rámci sériovej produkcie. V tejto práci sú podrobne popísané jednotlivé kroky vývoja zariadenia a výberu jednotlivých komponentov.

Annotation

Autor:	Martin Hajdúšek
Title of bachelor thesis:	Automation of inserting sealing rings into plastic pipes
Extent:	58 p., 52 fig., 6 charts
Academic year:	2022
University:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Production machinery and equipment
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Submitter of the Theme:	Nitrawex s.r.o
Application:	Automatic seal insertion into plastic pipes
Keywords:	Automation, manipulation, modular construction
Annotation:	Bachelor thesis deals with development of one-purpose industrial device for automatic elastomer seal insertion with variable diameter into plastic pipes within production line. This thesis contains detailed steps of development including selections of components.

Obsah

1	Úvod	9
2	Ciele práce.....	10
3	Analýza.....	11
3.1	Proces výroby plastových potrubí.....	11
3.2	Potrubia.....	13
3.3	Tesnenia	17
3.4	Alternatívy riešenia.....	18
3.5	Pracovisko.....	20
4	Návrhová časť	22
4.1	Prototyp manipulačnej jednotky.....	22
4.1.1	Počet prvkov.....	24
4.1.2	Fázy manipulácie.....	25
4.1.3	Pohyby drážkových prvkov	27
4.1.4	Pohyby prítlačných prvkov.....	28
4.1.5	Sily pri pôsobení prítlaku tesnenia.....	29
4.2	Manipulačná jednotka.....	30
4.2.1	Aktuátor drážkových prvkov	31
4.2.2	Aktuátor prítlačných prvkov	34
4.2.3	Prísun a odsun prítlačných prvkov	36
4.2.4	Polohovanie manipulačnej jednotky	38
4.3	Zásobovacia jednotka	41
4.4	Transport tesnení.....	45
4.5	Senzorické vybavenie	49
4.6	Elektrické vybavenie	51
4.7	Rámová konštrukcia	52
5	Výpočtová časť.....	55
6	Záver.....	57
	Zoznamy	59
	Prílohy.....	64

Zoznam použitých symbolov

π	[-]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg/m ³]	Hustota
d	[mm]	Priemer
E	[N/mm ²]	Modul pružnosti
J	[mm ⁴]	Kvadratický moment prierezu
L	[mm]	Dĺžka
M_o	[Nmm]	Ohybový moment od spojitého zaťaženia
m_o	[Nmm]	Ohybový moment od jednotkovej sily
q	[N/mm]	Spojité zaťaženie
v_{max}	[mm]	Maximálny priehyb

1 Úvod

Automatizácia je v dnešnej dobe veľmi často používaný termín a to vo všetkých odvetviach priemyslu. S pokrokom technológií sa stávajú stroje a roboty dostatočne sofistikované nato, aby boli schopné vykonávať úlohy, ktoré boli predtým vykonávané ľudským operátorom a to s väčšou presnosťou a opakovateľnosťou.

Proces vkladania tesniacich krúžkov do potrubí je práve jedným z procesov, ktoré sú vhodné na integráciu automatických zariadení a robotov, nakoľko sa jedná o prácu, ktorá je cyklická a fyzicky náročná a zároveň nevyžaduje hlbšie poznatky, ktoré by boli nutné k vykonaniu tohoto procesu. Ďalším dôvodom, ktorý je dôležitý spomenúť je, že na trhu je nedostatok samostatných zariadení na interné vkladanie tesnení do kruhových prierezov. Existujúce riešenia sú buď neoddeliteľnou integrovanou súčasťou hrdlovacích automatov alebo sú to zariadenia na externé vkladanie tesnení na korugované potrubia. Práve preto, je žiadúce v rámci tejto práce navrhnúť zariadenie, ktoré bude schopné plnohodnotne a po určitú dobu autonómne vykonávať túto činnosť.

Jedná sa o zariadenie, ktoré bude vyvinuté, aby bolo následne implementované do sériovej produkcie plastových potrubí s variabilitou priemeru a dĺžok. Konkrétne sa jedná o výrobky s nominálnymi priermi od 110 do 200 mm, dĺžkami od 500 do 5000 mm a hmotnosťami od 0,6 do 20,5 kg.

2 Ciele práce

Vzhľadom na to, že konečným a hlavným cieľom tejto práce je vývoj kompletného zariadenia tak v rámci rešeršnej časti je potrebné analyzovať v prvom rade proces výroby potrubí a následne konkrétne potrubia, do ktorých sa budú tesnenia vkladať a zároveň tesnenia v zmysle ich fyzikálnych parametrov a vlastností. V konečnej fáze rešeršnej časti je taktiež potrebné v rámci rozšírenia prehľadu a možností, nahliadnuť na aktuálne alternatívy riešenia problematiky interného vkladania tesnení. Popritom, keďže je v pláne realizácia zariadenia, je nevyhnutné pri návrhu brať do úvahy konečnú pozíciu zariadenia v danej výrobníj linke. Práve preto je posledná fáza rešeršnej časti zameraná na analýzu aktuálneho pracoviska, do ktorého bude zariadenie implementované a pri analýze bude stanovená najefektívnejšia pozícia zariadenia.

Kedže zariadenie bude mať za úlohu manipuláciu s elastomérovým tesnením, ktorá je vo všeobecnosti komplikovanou záležitosťou z dôvodu flexibility tesnenia, je nevyhnutné, aby v tejto práci prišlo k vývoju experimentálneho prototypu manipulačnej jednotky pomocou ktorého bude determinované akým spôsobom bude prebiehať manipulácia a zároveň k tomu príslušné zmapovania všetkých pohybov v rámci jednotky. Vďaka takejto experimentálnej determinácii následne bude možné určiť a na základe stanovených kritérií vhodne zvoliť jednotlivé prostriedky v podobe komponentov a navrhnuť kompletnú manipulačnú a zásobovaciu jednotku a prostriedok ich prepojenia. Pre kompletnosť návrhu je nevyhnutné zaoberať sa senzorickým a elektrickým vybavením. Po návrhu všetkých potrebných komponentov a určení ich vzájomnej pozície bude vytvorená rámová konštrukcia zariadenia s kompletnou virtuálnou montážou všetkých prvkov stroja.

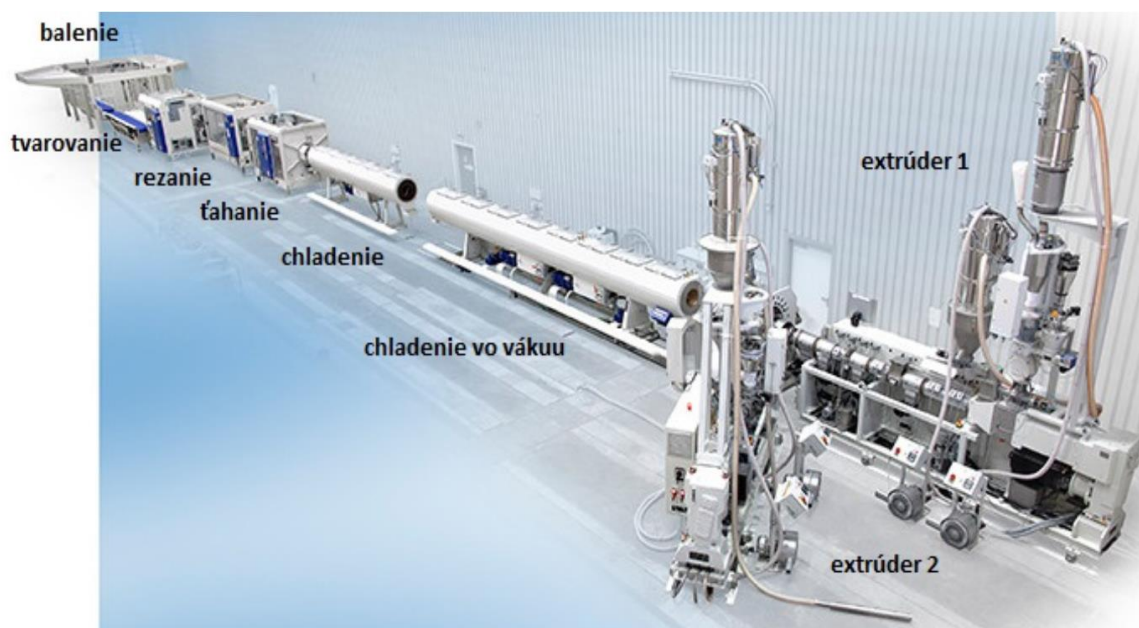
Výpočtová časť bude pozostávať z výpočtu priehybu. Ostatné výpočty potrebné k návrhu tohto zariadenia nie sú zahrnuté v tejto práci z dôvodu ich obsiahlosti a zároveň väčšina výpočtov a ich správnosť bola konzultovaná s konzultantmi jednotlivých dodávateľských spoločností.

3 Analýza

Pre zaručenie správnej funkčnosti zariadenia v rámci výrobnéj linky je potrebné nadobudnúť znalosť jednotlivých úsekov výroby plastových potrubí. Táto znalosť je taktiež dôležitá pre určenie najefektívnejšieho umiestnenia zariadenia. Popritom, je nutné poznať fyzikálne parametre záujmových potrubí a vkladovaných tesnení. K získaniu všeobecného náhľadu ohľadne procesu interného vkladania tesnení je v rámci tejto kapitoly zameranie na aktuálne dostupné riešenia na trhu v podobe zariadení od dvoch výrobcov, ktorý ponúkajú riešenia tejto problematiky.

3.1 Proces výroby plastových potrubí

Medzi základné termíny, ktoré charakterizujú samotný proces výroby plastových potrubí, patrí termín extrúzia. Extrúzný proces spočíva z prvotného prijatia polymérov, ktoré môžu obsahovať aditíva (stabilizátory, farbivá atď...), následne sú v extrúderi tieto polyméry roztavené a zmiešané a v konečnej fáze dávkované do príruby, ktorá má v prípade výroby potrubí medzikruhový prierez [1]. Nakoľko potrubia sú obvykle vyrábané vo väčších dĺžkach, je nutné aby boli vyrábané technológiu extrúzie, keďže žiadna iná technológia nezabezpečuje obdobné parametre pri takýchto dĺžkach. Prostriedkom extrúzneho procesu je extrúder. Obrázok 3.1 zobrazuje zostavu všeobecnej extrúznej linky.



Obrázok 3.1: Zostava extrúznej linky [2]

Takéto usporiadanie zariadení je vo väčšine závodov, ktoré sa zaoberajú produkciou geometricky podobných plastových produktov.

Výrobnú linku je možné rozdeliť na niekoľko úsekov z hľadiska ich funkcií respektíve vykonávaných operácií.

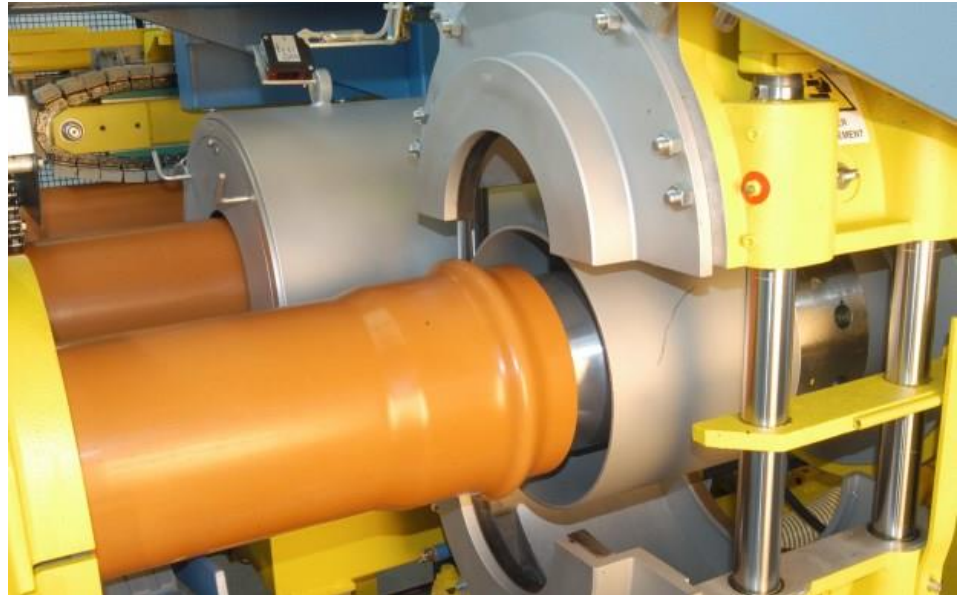
- Extrúder : Proces začína šnekovým extrúderom prípadne prídavným koextrúderom (extrúder 2), do ktorého vstupuje plast vo forme granulátu, pričom teleso tohoto extrúderu je vyhrievané čo zaručuje plastifikáciu materiálu.
- Extrúder 1 : Zabezpečuje vytlačenie hlavnej, strednej vrstvy.
- Extrúder 2 : Zabezpečuje vytlačanie internej a externej vrstvy
- Chladenie vo vákuu : Následne je tento materiál chladený vo vákuu čo zabezpečuje ochladzovanie plastifikovaného materiálu a zároveň stabilizáciu požadovej geometrie výrobku
- Chladenie : Po chladení vo vákuu pokračuje výrobok do ďalšej fáze chladenia, ktoré je potrebné najmä pri väčších rýchlostiach extrúzie materiálu a taktiež pri hrubších stenách produktu pre dodatočné ochladenie.
- Ťahanie : V tomto úseku je materiál ťahaný pomocou rôznych variácií odťahových technológií (viď Obrázok 3.2). Obvykle sa skladá zo štruktúry napínacieho pásu a príslušných valcov, ktorých sila je nastaviteľná.



Obrázok 3.2: Príklad odťahového stroja [3]

- Rezanie : V tejto časti sa daný výrobok reže na požadovanú dĺžku pomocou kotúčových rezacích nástrojov.

- Tvarovanie hrdlovej časti : Materiál sa už v požadovanej dĺžke presúva na tvarovanie normalizovaného hrdlového spoju v hrdlovacom automate pomocou opätovného ohriatia koncovkej časti potrubia a hydraulickým prítlakom do tvarových prípravkov (viď Obrázok 3.3). Práve v tejto časti sa vytvára hrdlová časť, do ktorej sa vkladá tesnenie.

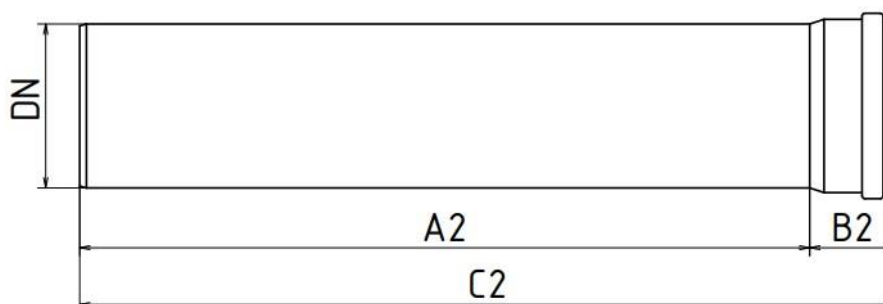


Obrázok 3.3: Hrdlovací automat [4]

- Balenie : V poslednom úseku je produkt balený do paletizovaných balení buď za pomoci paletizačných zariadení, alebo robotickými manipulátormi. V konkrétnom závode zadavateľskej firmy je táto operácia riešená pomocou 6-osého robotického manipulátora.

3.2 Potrubia

Táto podkapitola je zameraná na predmetné fyzikálne vlastnosti konkrétnych záujmových produktov, ktoré sú podstatné pri vývoji zariadenia práve preto, aby pri skutočnej realizácii nevznikali komplikácie spojené s nedostatkom informácií o daných produktoch. Medzi základné delenie produktov patrí priemer potrubia a jej kruhová tuhosť. Predmetné potrubia sú určené na kanalizačné siete. Hodnoty z jednotlivých rozmerov výkresu (viď obrázok 3.4 na nasledujúcej stránke) je možné vidieť v tabuľke 3.1 a zároveň delenie podľa kruhových tuhostí v nasledujúcej tabuľke 3.2. Údaje o jednotlivých produktoch, ktoré sú v práci uvedené sú poskytnuté od výrobcu, ktorý je zadávateľom tejto práce.


Obrázok 3.4: Rozmery jednotlivých produktov

DN	A2	B2	C2	DN	A2	B2	C2
[mm]							
110	500	71	571	160	500	100	600
110	1000	71	1071	160	1000	100	1100
110	2000	71	2071	160	2000	100	2100
110	3000	71	3071	160	3000	100	3100
110	5000	71	5071	160	5000	100	5100
125	500	80	580	200	500	105	605
125	1000	80	1080	200	1000	105	1105
125	2000	80	2080	200	2000	105	2105
125	3000	80	3080	200	3000	105	3105
125	5000	80	5080	200	5000	105	5105

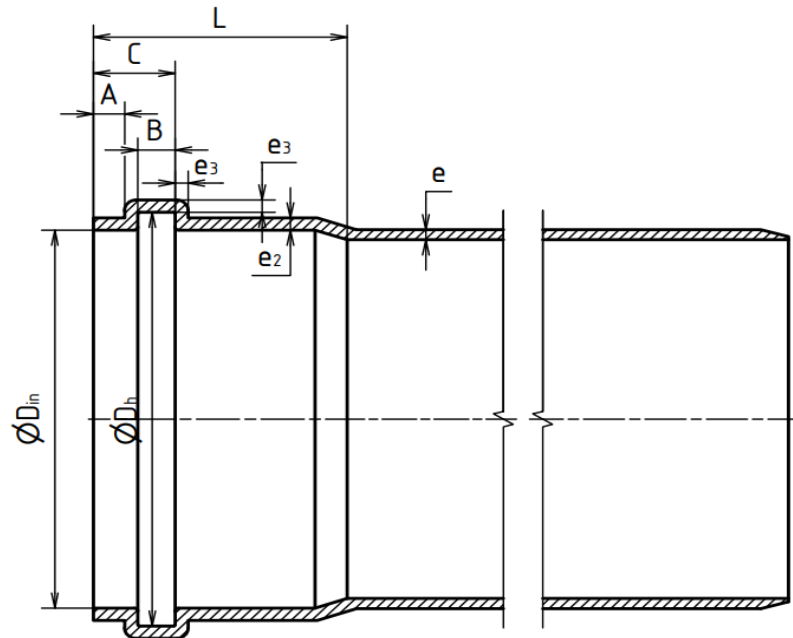
Tabuľka 3.1: Hodnoty rozmerov jednotlivých produktov

Označenie	SN4	SN8
Kruhovú tuhosť [kN/m²]	4	8
Odpovedajúca norma	STN EN 1401	STN EN 1401
Vyrábané priemery	110,125,140,160,200	125,140,160,200

Tabuľka 3.2: Kruhovú tuhosť podľa STN EN 1401

Označenia jednotlivých produktov sú nasledovné: 500, 1000, 2000, 3000, 5000. Tieto označenia vyjadrujú pevnú stavebnú dĺžku (rozmer A2 viz. tabuľka 3.1), ktorá ale nie je celkovou dĺžkou potrubia, tú vyjadruje rozmer C2. Rozmer B2 vyjadruje hrdlovú časť, ktorá vznikla v hrdlovacom automate. Dĺžky nie sú závislé na kruhovej tuhosť z tabuľky 3.2. a sú teda vyrábané vo všetkých variantách. Zároveň na týchto dvoch tabuľkách je možné vidieť všetky rady produktov, ktoré je pri návrhu zariadenia nutné brať do úvahy.

Avšak najdôležitejší aspekt pri návrhu zariadenia je zobrazený na obrázku 3.5. Jedná sa o detailný výkres hrdlovej časti. Do tejto hrdlovej časti bude musieť byť dané tesnenie vložené s tým, že musí byť vkladací mechanizmus schopný prieniku až do stredu tejto drážky pre tesnenie.



Obrázok 3.5: Výkres hrdlovej časti

SN	D_{in}	D_h	L	A	B	C
[-]	[mm]					
4	110	120	72	9	10	22,3
4	125	137	80	9,5	11,4	24
4	160	173,2	100	11,3	10	27,4
4	200	215	105	12,8	13,6	30,5

Tabuľka 3.3: Rozmery hrdlovej časti

Práve z dôvodu dôležitosti týchto hodnôt, boli tieto hodnoty aj fyzicky merané na vzorke 50-tich kusov z každého rozmeru, aby nenastal v prípade implementácie nesúlad medzi hodnotami tabuľkovými a reálnymi, ktorý by spôsoboval prípadnú nerealizovateľnosť. Zároveň je nutné poznamenať, že hodnoty rozmerov L a A z tabuľky 3.3 sú len priemernými hodnotami, nakoľko tieto hodnoty sú v rámci produkcie variabilné. Variabilita týchto hodnôt vzniká v hrdlovacom automate, pretože optický snímač, ktorým je tento automat vybavený, meria vzdialenosť od počiatku potrubia v jednotkách pulzov a tým

pádům vydáva signál v rôznych dĺžkach. . Ďalším faktorom tejto rozdielnosti je rovnosť orezu v rezacom zariadení. Odchýlka však činí maximálne 10 % z celkovej hodnoty. Táto hodnota je dôležitá, aby bola braná do úvahy pri určovaní dĺžky pohybu zariadenia pri polohovaní s tesnením do vnútra potrubia, a zároveň je k tomu potrebné, aby bol celý proces na to prispôsobený.

Na základe hodnôt z tabuliek 3.1 3.2 a 3.3 je možné pomocou výpočtu determinovať dĺžkové hustoty jednotlivých produktov, ktoré sú následne použité pre výpočet hmotností uvedených v tabuľke 3.4.

DN	SN	C2	m	DN	SN	C2	m
[mm]	[-]	[mm]	[kg]	[mm]	[-]	[mm]	[kg]
110	4	500	0,60	160	4	2000	4,30
110	4	1000	1,20	160	4	3000	6,45
110	4	2000	2,40	160	4	5000	10,75
110	4	3000	3,60	160	8	500	1,35
110	4	5000	6,00	160	8	1000	2,70
125	4	500	0,69	160	8	2000	5,40
125	4	1000	1,38	160	8	3000	8,10
125	4	2000	2,76	160	8	5000	13,50
125	4	3000	4,14	200	4	500	1,66
125	4	5000	6,90	200	4	1000	3,32
125	8	500	0,89	200	4	2000	6,64
125	8	1000	1,79	200	4	3000	9,96
125	8	2000	3,58	200	4	5000	16,60
125	8	3000	5,37	200	8	1000	4,13
125	8	5000	8,95	200	8	2000	8,20
160	4	500	1,08	200	8	3000	12,30
160	4	1000	2,15	200	8	5000	20,50

Tabuľka 3.4: Hmotnosti potrubí

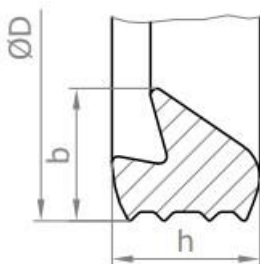
Ako je možné vidieť, hmotnosti najmä väčších a hrubších potrubí sú nezanedbateľne veľké. Z toho vyplýva, že pokiaľ by bolo potrebné, aby zariadenie zastavovalo dané potrubie v pohybe, bola by nutnosť vytvoriť konštrukciu s dôrazom na tuhosť a odolnosť zastavovacieho mechanizmu voči nárazom, keďže moment zotrvačnosti a prípadná nárazová energia by bola značne veľká.

3.3 Tesnenia

Tesniace krúžky s označením BL sú vyvinuté pre plastové rúry a armatúry, ktoré sú vyrobené buď z PVC alebo PP v súlade s normou EN 1451-1 a taktiež splňujú požiadavky stanovené normou EN-681-1 WC. Tesnenia BL sú primárne používané v oblasti kanalizačných rúr a vďaka svojej odolnosti voči vysokej teplote aj v drenážnych systémoch [5].

Rozmery tesniacich krúžkov BL sú štandardizované pre zabezpečenie čo najlepších tesniacich vlastností, a taktiež z dôvodu toho, aby boli kompatibilné voči rôznym prevedeniam hrdlových spojov, ktoré sa v rámci plastikárskeho priemyslu a konkrétne teda výroby plastových potrubí používajú. Tieto tesnenia sú dodávané už lubrikované.

Na výkrese (viď obrázok 3.6) je možné vidieť prierez tesnenia typu BL, ktorý sa od klasického prevedenia O-krúžkov výrazne líši. Táto rozlišnosť je spôsobená práve kvôli tvaru hrdlových spojov, na ktoré sú prispôbolené. Na zaistenie čo najlepších tesniacich vlastností a taktiež odolnosti voči vysunutiu je nutné pre potrubia používať tento typ prierezu.



Obrázok 3.6: Prierez tesnenia typu BL [5]

DN	D	b	h
[mm]			
100	124,0±0,7	7,9±0,3	9,1±0,3
125	142,0±0,8	9,1±0,3	10,4±0,3
150	179,6±0,8	10,2±0,3	11,7±0,3
200	224,0±1	11,4±0,3	13,0±0,3

Tabuľka 3.5: Rozmery tesnenia [5]

V tabuľke 3.5 je možné si všimnúť dve záležitosti. Záležitosť týkajúcu sa označenia DN. Označenie ktoré uvádza výrobca tesnení pre potrubia DN 110 a DN 160 sú označené ako DN 100 pre prvé spomínané a pre druhé DN 150. Druhou záležitosťou je fakt, že priemery D označené v tabuľke 3.5 preyšujú rozmery, ktoré sú v tabuľke 3.3 pre drážky v hrdlových spojeniach. Je tomu tak z dôvodu zabezpečenia ideálnej kombinácie tesnosti a pevnosti

spojenia. V oblasti materiálových vlastností tesniacich krúžkov je v rámci tejto práce relevantné sa baviť o jedinej vlastnosti, a to konkrétne o hodnote IRHD (International rubber hardness degree). Táto jednotka IRHD udáva tvrdosť tesnení. Výrobca deklaruje hodnotu IRHD 65 ± 5 [5]. Pre porovnanie je vhodné uviesť, že táto hodnota je veľmi blízka hodnote, ktorú dosahujú bežné tesniace O-krúžky. Veľkosť tejto veličiny bude ďalej v dokumente použitá pri návrhu uchopovacieho systému tesnení pričom táto hodnota bude zodpovedať maximálnej sile, ktorú bude zariadenie môcť vyvinúť na stlačenie tesnenia. Pri prekročení môže dôjsť k nežiadúcej plastickej deformácii.

3.4 Alternatívy riešenia

Problematika vkladania tesnení sa týka všetkých výrobcov plastových potrubí, pretože v oblasti interných spojov, okrem závitových spojení, ktoré sú integrované do hrdiel, neexistuje žiadna iná varianta spojení, ktorá by nevyžadovala na dosiahnutie tesnosti a pevnosti spoju tesniaci krúžok. Ku príkladu, je vhodné zmieniť, že táto problematika sa týka aj výrobcov plastových profilov, ktoré obsahujú tesnenia rozdielnych prierezov.

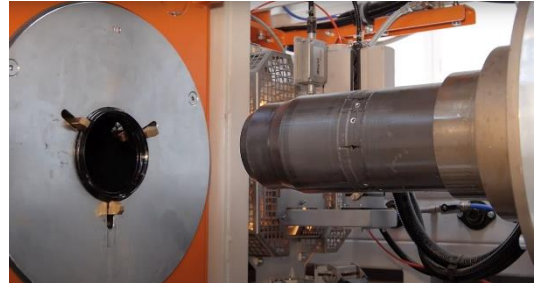
Na jednej strane sú zariadenia na automatické vkladanie tesnení už na trhu, a to od rôznych výrobcov, ktorý sa zaoberajú extrúziou. Na strane druhej je potrebné poznamenať, že vo väčšine existujúcich zariadení sa jedná o neoddeliteľné súčasti hrdlovacích automatov a samostatných riešení interného vkladania tesnení je na trhu veľmi málo, nakoľko vyžadujú kompatibilitu v rôznych oblastiach hrdlovacieho stroja. V rámci vývoja zariadenia v tejto práci je dôležité nahliadnuť na existujúce varianty a spraviť si tak nadhľad nad celou problematikou.

Prvým zmieňovaným je hrdlovací automat Sica Unibell 200. Jedná sa o hrdlovací stroj, ktorého súčasťou je systém automatického interného vkladania tesnení, ktorý je implementovaný v rámci hrdlovacieho automatu. Tento systém je dostupný len v rámci hrdlovacieho stroja, to znamená, že ho nie je možné použiť s akýmkoľvek iným strojom. Je dostupný vo variante jedno alebo dvoj klinového vkladacieho systému, ktorý zaručuje vloženie rôznych druhov tesnení. Zároveň toto zariadenie disponuje automatickou lubrikáciou tesnení pre plynulejšie vloženie. Hlavnou výhodou integrovaného vkladania tesnení je, že nie je potrebná dodatočná manipulácia s tesnením a produkt je po výstupe z hrdlovacieho automatu

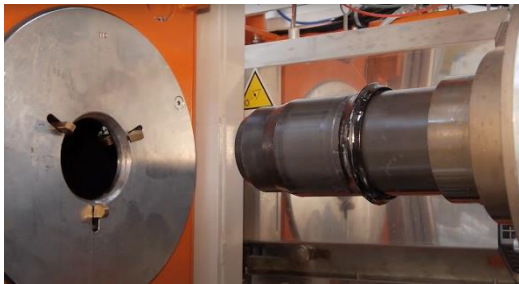
pripravený na export, čím sa znižujú náklady a čas potrebný na manipuláciu. Čo sa týka zásobníku tesnení ten je schopný zásobovať také množstvo tesnení, aby sa zaručil samostatný chod stroja na 8 hodín pri výrobe potrubí DN 160 [6].



Obrázok 3.7: Doprvník tesnení [6]



Obrázok 3.8: Úchyt tesnenia [6]



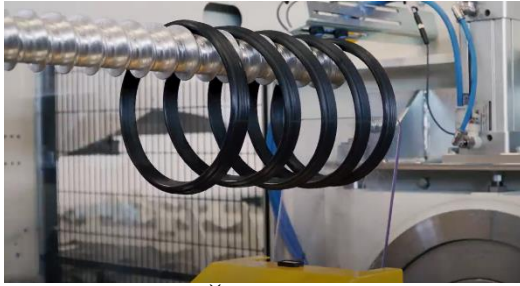
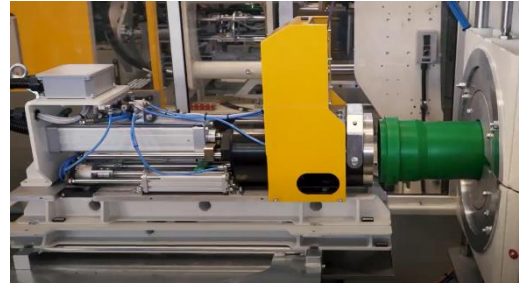
Obrázok 3.9: Nasadenie na trn [6]



Obrázok 3.10: Finálny produkt [6]

Na obrázkoch 3.7 až 3.10 sú zobrazené jednotlivé časti systému a jeho principiálne fungovanie. Na obrázku 3.7 je zobrazený spôsob transportu tesnení do zariadenia pomocou šnekového dopravníku. Obrázok 3.8 zobrazuje troj-prstý symetrický úchop tesnenia, aby mohlo byť tesnenie následne nasadené na hrdlovací trn (viď Obrázok 3.9). Po kompletnom pracovnom cykle zahrňujúcom tvorbu hrdlovej časti potrubia vzniká kompletný produkt s nasadeným tesnením (viď Obrázok 3.10).

Ďalším strojom, ktorý rieši túto problematiku je stroj IPM BA 400. Znova sa jedná o kompletné hrdlovacie zariadenie, ktorého súčasťou je systém vkladania tesnení. Tentokrát sa však jedná o spôsob s určitými odlišnosťami oproti predošlému príkladu. Hlavnou odlišnosťou je to, že tento systém reálne tesnenia vkladá, čiže tesnenia nie sú vložené na hrdlovací trn ale sú pneumatickými prvkami vkladané do už existujúcich drážiek [7]. Ďalšou odlišnosťou oproti predošlému je, že dané potrubie po nahrdlovaní prechádza do systému vkladania tesnení, a teda proces vkladania neprebíha v rámci hrdlovacieho automatu. Ten je len prispôbený k tejto dodatočnej operácii. Nevýhodou tohto riešenia je nutnosť mechanických zmien v prípade zmeny priemeru vyrábaných potrubí, čím sa výrazne zvyšuje čas potrebný na konfiguráciu.


Obrázok 3.11: Šnekový dopravník [7]

Obrázok 3.12: Zariadenie [7]

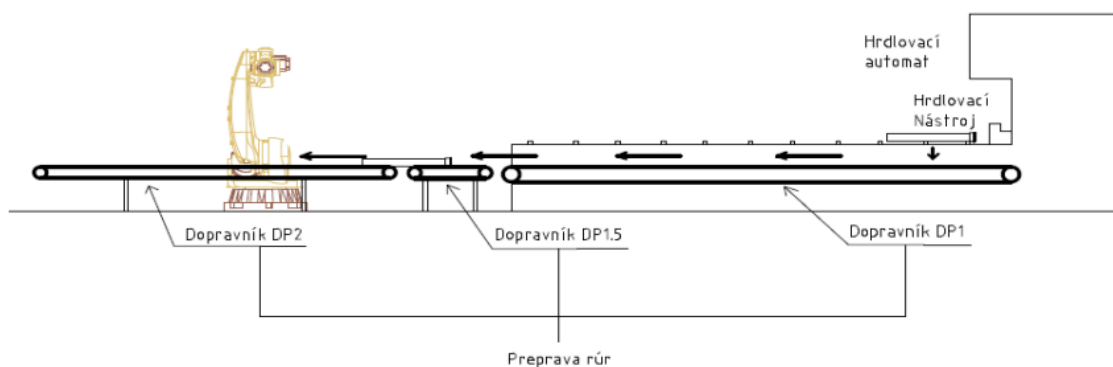
Obrázok 3.13: Vloženie tesnenia [7]

Obrázok 3.14: Uvoľnenie [7]

Transport tesnení je rovnako ako v predošlom príklade za pomoci šnekového dopravníku (viď obrázok 3.11). Tento spôsob dopravy sa javí ako veľmi efektívny prostriedok dopravy tesnení. Na obrázku 3.12 je zobrazené kompletne zariadenie. Samotný princíp manipulácie s tesnením je založený na pneumatickom uchopení tesnenia. Nasleduje zatlačenie potrubia do statickej predom určenej polohy pre čo najlepšiu stabilizáciu (viď Obrázok 3.13). Ďalej je už tesnenie vložené do drážky a potrubie je uvoľnené zo statickej pozície (viď Obrázok 3.14).

3.5 Pracovisko

Táto podkapitola analyzuje aktuálne pracovisko so zameraním na koncový úsek výrobnjej linky, ktorým je úsek tvarovania a balenia. Tento úsek výrobnjej linky je v rámci tejto práce dôležitý nakoľko to je úsek, do ktorého sa zariadenie implementuje a je potrebné nájsť najvýhodnejšie umiestnenie v pracovisku s aktuálnym rozmiestnením (viď. Obrázok 3.15).


Obrázok 3.15: Nárys pracoviska

Na nárysom pohľade je zobrazené rozloženie jednotlivých prvkov koncovej časti linky. Po finálnom nahrđlovaní, je potrubie pomocou dopravníkov DP1 až DP3 dopravené k robotickému manipulátoru KUKA KR150. Manipulátor zaistí ďalší presun a zároveň rotáciu výrobkov už do finálnych paletizovaných balení. V prípade varianty umiestnenia zariadenia za robotický manipulátor by vznikol problém rozpoznateľný z obrázku 3.16.



Obrázok 3.16: Paletizované balenie

Paletizované balenia sú štruktúrované tak, aby žiadne hrdlo nebolo položené na inom a zároveň sú v každom rade dve hrdlové časti vedľa seba otočené opačne. Z toho vyplýva, že zariadenie umiestnené do týchto priestorov by muselo disponovať schopnosťou vkladat tesnenia do potrubí na oboch stranách palety.

Najvýhodnejšou variantou polohy je varianta umiestnenia pred dopravník DP1 vedľa hrdlovacieho automatu. Jedná sa totižto o polohu výhodnú nielen z hľadiska priestorového, ale taktiež z toho funkčného. Toto umiestnenie je výhodne z dôvodu, že potrubia po výstupe z hrdlovacieho automatu sú vždy otočené jedným smerom. Tým pádom je dostatočné, aby zariadenie vkladalo tesnenia len z jednej strany. Jedinou komplikáciou je, že zariadenie musí byť usporiadané na vkladanie tesnení do rúr, ktoré budú na dopravníku označenom ako DP1. Na jednej strane výhodou tohto dopravníku je integrovaný prepínač fáz to znamená, že sa dokáže automaticky prepínať do pohybu vpred alebo vzad podľa potreby, čo umožňuje využiť túto skutočnosť a zabezpečiť tým dopravu potrubí priamo z hrdlovacieho automatu do zariadenia. Nevýhodou je, že potrubie musí na tomto dopravníku zostať, a teda nesmie prejsť na iný, kde by mohla byť zabezpečená lepšia stabilizácia a práve preto je žiadúce, aby vkladací mechanizmus bol presný a pracoval spôsobom bezkontaktného vkladania.

4 Návrhová část

Táto časť je zameraná na návrh jednotlivých mechanizmov komponentov potrebných na funkčnosť zariadenia a to s dôrazom, ktorý je primárne kladený na samostatnú činnosť zariadenia s čo najdlhšou možnou dobou bez aktívneho zásahu príslušného operátora, spoľahlivosť a ekonomickú rentabilitu zariadenia. V tejto časti je vysvetlené, akým spôsobom prišlo k výberu práve daných použitých komponentov a to za pomoci kritériálnych parametrov, výpočtov a výsledkov jednotlivých experimentálnych meraní. Návrh je zložený z niekoľkých samostatných úsekov zariadenia, a teda táto kapitola pozostáva z nasledujúcich podkapitol: Prototyp manipulačnej jednotky, manipulačná jednotka, zásobovacia jednotka, transport tesnení, senzorické vybavenie, elektrické vybavenie, rámová konštrukcia.

4.1 Prototyp manipulačnej jednotky

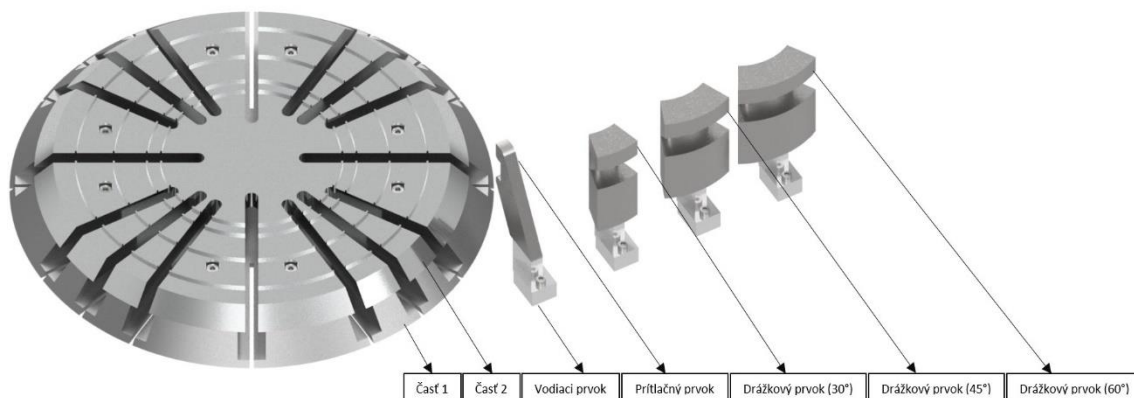
Uchopovacích aplikácií je také rozmanité množstvo ako množstvo geometrických a fyzikálnych vlastností daných uchopovaných predmetov. V kombinácii s množstvom možných či už okolitých podmienok alebo jednotlivých manipulačných úloh, často vzniká väčšie portfólio kombinácií uchopovania na jeden predmet tak ako je to zobrazené na obrázku 4.1 [8].



Obrázok 4.1: Kombinácie úchopu predmetu jednotnej geometrie [8]

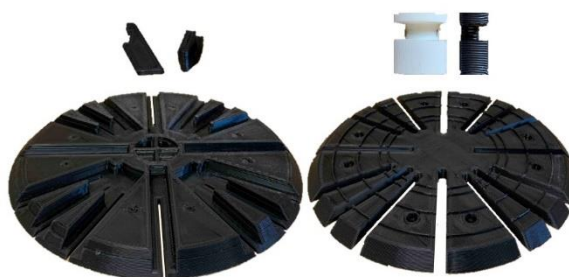
Avšak s predmetmi, ktoré sú vyrobené z gumových respektíve elastomérových materiálov je často ešte v dnešnej dobe manipulované manuálne a to z dôvodu problematického úchopu, ktorý je spôsobený elasticitou a poddajnosťou predmetov vyrábaných z týchto materiálov [8]. Zároveň je nutné si uvedomiť, že v tejto aplikácii je potrebné tesnenie nie len uchopiť, ale taktiež s ním vykonať potrebnú manipuláciu, ktorá spôsobí zmenšeniu priemeru a tým pádom vznikne možnosť dané tesnenie vložiť do hrdlovej časti potrubia.

Z tohto dôvodu bolo žiadúce v rámci zistenia čo najlepšieho riešenia uchopovania a vkladania tesnení vytvoriť experimentálny prototyp. Pomocou tohto prototypu testovať rôzne variácie uchopovania a nájsť práve najvhodnejšiu variantu, ktorá by fungovala s čo najväčšou úspešnosťou pre všetky 4 rozmary tesnení.



Obrázok 4.2: Prototyp manipulačnej jednotky

Práve preto, bol vyvinutý experimentálny prototyp uchopovacej jednotky. Tento prototyp ako je možné vidieť na obrázku 4.2, pozostáva z niekoľkých častí a prvkov. Časť 1 a časť 2 sú hlavnými, nakoľko spoločne tvoria jednotku, ktorá obsahuje 16 T-drážiek, ktoré slúžia ako vodiace kanály. Drážky v tomto prototypu sú v rámci 90° stupňov od seba symetricky vychýlené vždy o nasledovné uhly 30° ◀-▶ 15° ◀-▶ 15° ◀-▶ 30°. Dôvodom, týmto spôsobom vychýlených T-drážiek je ten, aby vzniklo čo najväčšie možné množstvo variácií uchopovania a prítlaku tesnení ktoré sa dajú týmto prototypom testovať. Ďalšími vyvinutými prvkami bol vodiaci prvok, ktorý zabezpečuje stabilné vedenie v daných T-drážkach a zároveň sú na ňom prítláčne prvky tesnení a drážky pre tesnenia o rôznych uhlových šírkach.



Obrázok 4.3: 3D-tlačené súčiastky

Po vývoji tohto experimentálneho predmetu bol daný model vytlačený pomocou 3D tlače (viď Obrázok 4.3) technológiou FDM (Fused Deposition Modeling). Táto technológia spočíva v extrúzií materiálu, ktorý okamžite tvrdne. Termoplastické alebo kovové vlákno je

navinuté na cievke, z ktorej sa odvíja, aby bolo následne privádzané do extrúzne dýzy, ktorá materiál ohrieva a zároveň na konci procesu chladí [9]. Táto technológia bola vzhľadom na geometriu celej súčiastky a jednotlivých častí najvhodnejšia. Čo sa týka zvoleného materiálu tak bolo vhodné použiť PLA (Polylactic acid - kyselina polymliečna). Vyznačuje sa teplotami tavenia od 150° do 160° avšak typicky je extrudovaný pri teplotách od 180° do 220°. Tento materiál sa vyznačuje väčšou krehkosťou avšak na druhej strane zvýšenou odolnosťou voči tlaku [10]. Jednotlivé časti celého prototypu boli tlačené oddelene. Následne boli tieto časti pomocou lepených a skrutkových spojov zostavené a na konci vybrusované pre zabezpečenie komfortných pohybov v rámci T-drážiek pri testovaní. Celý proces 3D tlače sa uskutočnil pomocou tlačiarne Creality Ender 5 Plus.

Vo všeobecnosti vyhotovený prototyp mal za primárny účel experimentálne určenie počtu drážkových a prítlačných prvkov v danom manipulačnom mechanizme (viď Obrázok 4.4). Sekundárnym účelom bolo nájsť čo najefektívnejší spôsob, akým bude s tesnením všetkých štyroch rozmerov manipulované. Ďalšími veľmi dôležitými prínosmi, ktoré priniesol, bolo prípadné zistenie síl potrebných na manipuláciu a jednotlivé zmapovanie všetkých potrebných pohybov či už drážkových, alebo prítlačných prvkov, aby bolo možné v neskoršej fáze návrhového procesu samotný mechanizmu náležite dimenzovať.



Obrázok 4.4: Variácia manipulácie s tesnením

4.1.1 Počet prvkov

Z obrázku 4.4 je zjavné, že konkrétne boli testované varianty s identickým počtom drážkových a prítlačných súčiastok a to konkrétne z ľavej strany obrázku od 3 cez 4 po 6 prvkov jedného druhu. V prvotnej fáze bol testovaný mechanizmus s 3 prvkami čiže 6 prvkami, ktorý je zobrazený ako prvý zľava na obrázku. Tento spôsob bol plne funkčný pre menšie rozmery tesnení a to pre tesnenia na potrubia s nominálnym priemerom 110 a 125. Avšak, pri tesneniach s väčšími rozmermi vznikol problém s flexibilitou tesnenia, ktorá spôsobovala

neúplný a nesymetrický úchop tesnenia v drážkach. Ďalšou experimentálne overenou variantou bol spôsob so 4 prvkami drážkovými a 4 prítlačnými. Táto varianta sa prejavovala aj napriek niekoľkým opakovaniam testov ako bezproblémová. To znamená, že týmto spôsobom je zaručený opakovateľný a stabilný úchop a taktiež rovnomerný prítlak tesnenia na zmenšený priemer. Takto zobrazený mechanizmus vo fáze prítlaku tesnenia je viditeľný na obrázku 4.5. Ako posledná varianta so 6 prvkami taktiež pracovala bez konfliktov v úchopných a prítlačných požiadavkách tesnenia. Po zvážení a vyhodnotení testovania rôznych spôsobov bolo usúdené, že varianta so 4-drážkovými a 4-prítlačnými prvkami je varianta, ktorá je z hľadiska zložitosti a konečnej ekonomickej efektivity tou najvhodnejšou. Zároveň prišlo k určaniu uhlovej šírky drážky, pričom najspolahlivejšou bola šírka 45° nakoľko pri 30° šírke drážky by na zmenšenie priemeru potrebovalo hlbší prítlak a práve naopak 60° boli nerealizovateľné pre najmenšie tesnenie z priestorových dôvodov.



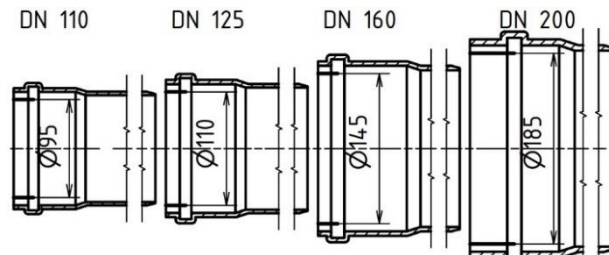
Obrázok 4.5: Prítlak tesnenia na zmenšenie priemeru

4.1.2 Fázy manipulácie

Po určení a ujednotení počtu prvkov a ich parametrov v danom mechanizme, nasledovala charakterizácia respektíve rozfázovanie jednotlivých úkonov, ktoré musí takýto mechanizmus vykonať, aby bol schopný nielen dané tesnenie stabilne uchopiť, ale zároveň toto tesnenie stlačiť do potrebného tvaru, aby sa zmenšil vonkajší priemer a mohlo byť bezkontaktné vložené do internej drážky potrubia.

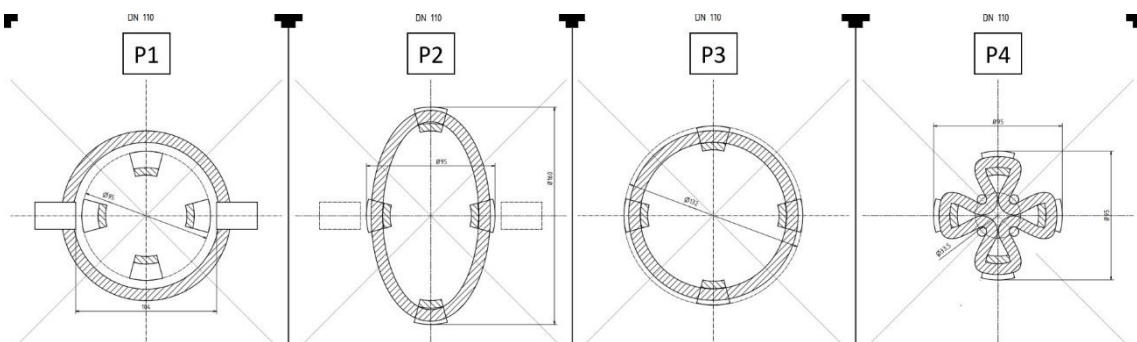
Pre určenie a zaistenie efektívneho procesu manipulácie bola najskôr nutnosť, zistiť maximálny priemer, v ktorom sa daný mechanizmus s nasadeným tesnením môže bezkontaktné vložiť do daného potrubia. Tento priemer musí byť braný, ako vonkajší priemer pri drážkových prvkoch pri rozptyle v rámci jednej osi. Zároveň pomocou neho sa získal základný údaj udávajúci ako hlboko je potrebné dané tesnenie stlačiť, čiže vonkajší priemer tesnenia v drážke. Tieto rozmery sú pre každý rozmer tesnenia odsadené vždy o 7,5 milimetra

čo je hodnota vôle, ktorá by mohla byť použitá napríklad pri rôznych nerovnostiach, alebo v prípade vychýlenia potrubia z osi manipulačného mechanizmu. Hodnoty maximálnych vstupných priemerov pre každý rozmer tesnení je zobrazený na obrázku 4.6.



Obrázok 4.6: Maximálne vstupné priemery

Na základe tohto rozmeru, vznikla možnosť vytvoriť celý pracovný cyklus daného mechanizmu pozostávajúci zo 4-drážkových prvkov a 4-prítlačných prvkov. Tento celý cyklus uchopovania a vkladania je zobrazený na obrázku 4.7 reprezentujúci 4 výkresy, pričom každý výkres zastáva práve jednu fázu celého cyklu, ktoré sú označené od P1 po P4. Vo fáze P1 na prvom výkrese je znázornené privedenie tesnenia do osi mechanizmu a do stredovej roviny drážiek. Následne, vo fáze P2 je roztiahnutý vertikálny pár drážiek na zväčšený priemer, ktorého veľkosť je určená veľkosťou nutnou na zapadnutie tesnenia do horizontálnych drážiek, ktoré sú v prvej a druhej fáze statické. Tým sa v tejto fáze dané tesnenie rozťahne do geometrie podobnej elipse. Ďalej v časti P3 dochádza k synchronnému a rovnomernému zaťahovaniu vertikálnych drážiek a rozťahovaniu horizontálneho páru drážiek. Tento stav trvá až do doby, kým sa zväčšovaním a zmenšovaním priemeru, ktoré tvoria vonkajšie povrchy dvoch párov drážiek nedostanú na priemer, v ktorom je dané tesnenie vo svojom prirodzenom kruhovom tvare a rozmere. Tesnenie nasadené vo všetkých drážkach je tým pádom pripravené na rovnomerný štvor-bodový prítlak vo fáze P4 pomocou prítlačných prvkov a súvisle s prítlakom sa koná zmenšovanie priemeru drážiek na maximálny vstupný priemer vysvetlený v predošlom odstavci.



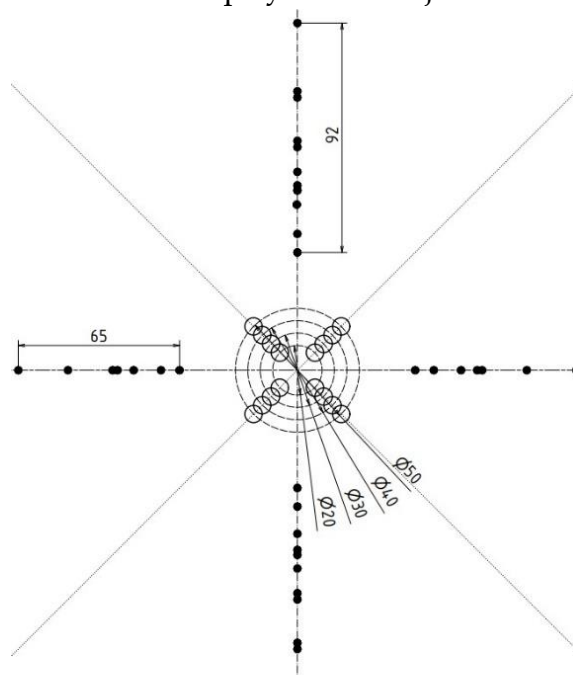
Obrázok 4.7: Fázy manipulácie

Týmto spôsobom a cyklom, ktorý pozostáva zo štyroch fáz dosiahneme úchopu a prítlaku tesnenia na zmenšený priemer pri dočasnej zmene geometrie.

Pomocou experimentov vykonávaných na prototypu, sa prejavila typická vlastnosť polymérov čiže aj samotných tesniacich krúžkov. Táto vlastnosť sa nazýva tvarová pamäť. Polyméry s tvarovou pamäťou sa vyznačujú tým, že po deformácii sú schopné zotrvať v zdeformovanom tvare respektíve v zmenenej geometrii. V tomto stave zotrvávajú až do doby, kým nie sú vonkajším podnetom ako napríklad teplo alebo svetlo podporené na návrat do svojho pôvodného tvaru. Tvarová pamäť je spôsobená morfológiou polyméru [11]. Tým pádom, z tejto vlastnosti vyplýva, že v prípade ak chceme zaručiť čo najvyššiu úspešnosť vkladania tesnení, musíme vykonať po deformácii a následnom vypustení z deformovaného stavu daného tesnenia opätovný prítlak, avšak tentokrát z jeho vnútornej strany.

4.1.3 Pohyby drážkových prvkov

Výkresy jednotlivých fáz manipulácie boli vytvorené pre každý rozmer tesnenia. Vďaka tomu, vznikla možnosť zmapovať všetky potrebné dráhy respektíve pohyby, ktoré sú vykonávané. Táto podkapitola sa venuje zmapovaniu pohybov drážkových prvkov. Keďže ako bolo vysvetlené v predošlej podkapitole, vo fáze označenej ako P2 kde jeden pár drážiek zväčšuje priemer a druhý zostáva statický. Práve preto je nevyhnutné pohyby rozdeliť na dve horizontálne a dve vertikálne páry osí tak ako je to zobrazené na obrázku 4.8.



Obrázok 4.8: Dráhy drážkových prvkov

Obrázok 4.8 zobrazuje celkovú mapu pohybov, pričom čierne body na vertikálnej a horizontálnej osi predstavujú polohy drážiek v rôznych fázach pracovného cyklu. V rámci jednej osi sú pohyby rovnomerné a v priebehu cyklu synchronne vykonávané. Osi pootočené o 45° voči osiam drážkových prvkov reprezentujú osi prítlačných prvkov. Hlavnými údajmi čitateľnými z tohto obrázku sú kóty s hodnotami 92 a 65 milimetrov. Tieto hodnoty vyjadrujú minimálny požadovaný pohyb v rámci jednej osi jedného drážkového prvku. Boli determinované ako vzdialenosť polohy, ktorá sa nachádza najbližšie k stredu mechanizmu od tej najvzdialenejšej polohy. Tieto konkrétne hodnoty sú ďalej v práci použité na určenie zdvihov jednotlivých pohonov. Popritom je možné vidieť konečné polohy prítlaku, ktoré budú vysvetlené v ďalšej podkapitole.

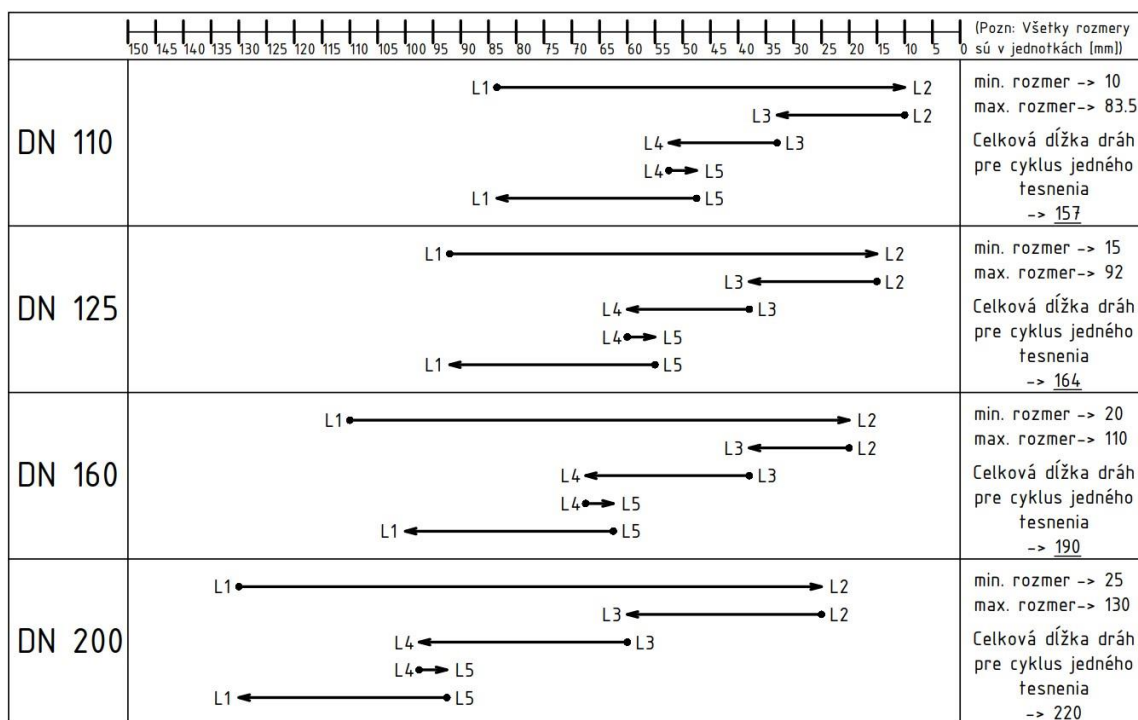
4.1.4 Pohyby prítlačných prvkov

Z dôvodu zložitosti a množstva pohybov, ktoré musia prítlačné prvky na zabezpečenie prítlaku vykonať a taktiež s vedomím tvarovej pamäte tesnenia bolo opätovne nevyhnuté zmapovanie pohybov. Tak ako prišlo k rozfázovaniu celého úchopno-vkladacieho cyklu, tak bolo žiadúce rozdeliť pohyby do niekoľkých pozícií pri prítlačných súčiastiach.

Celkovo sa jednotlivé pohyby rozdelili do 6 pozícií s označením od L1 až po L6. Pozícia s označením L1 predstavuje pozíciu, v ktorej sa prítlačný element nachádza v momente nasadzovania tesnenia do drážiek a teda, vo fáze cyklu P1 až P2 z podkapitoly fáz manipulácie. Ďalšou pozíciou v poradí, je pozícia vyznačujúca prítlak tesnenia z jeho vonkajšej strany aby došlo k zmenšeniu priemeru tesnenia v drážkach. Táto poloha sa vykonáva v rámci cyklu P4. Následne sú prítlačné prvky vysunuté z tesnenia, čím sa dosahuje zapadnutie tesnenia do drážiek potrubia. Nastávajúca pozícia L3 je rozmer, s ktorým vstupujú prítlačné prvky znovu do potrubia pre prítlak z vnútornej strany. L4 zastáva konečnú polohu vnútorného prítlaku tesnenia. Z dôvodu bezpečnosti, ďalej prichádza zmenšenie rozmeru na L5 sprevádzané výsunom prítlačných prvkov z potrubia a nasleduje návrat do počiatočnej polohy L1.

Výsledná sumarizácia celého merania pohybov prítlačných elementov je viditeľná na nasledujúcej strane a táto sumarizácia schematicky popisuje všetky nevyhnutné polohy, ktoré musí práve jeden prítlačný prvok vykonať, na vloženie všetkých štyroch rozmerov tesnení do potrubia. Táto schéma zároveň poukazuje na smery vykonávaných pohybov. Smer

z ľavej strany na pravú znamená smer pohybu smerom ku stredu celého mechanizmu označeného súradnicou 0. Tým pádom, opačný smer znamená smer od stredu mechanizmu. Celá schéma pohybov je zobrazená obrázku 4.9. Konkrétne namerané pozície sú uvedené v tabuľke 4.1. Identickou determináciou akou bol určený minimálny pohyb drážkových prvkov, tak bola určená táto hodnota aj pre prítlačné prvky. Táto hodnota činí 105 milimetrov.



Obrázok 4.9: Schéma pohybov prítlačných prvkov

DN	L1	L2	L3	L4	L5
[mm]					
110	83,5	10	33	52,5	47,5
125	92	15	38	60	55
160	110	20	48	77,5	72,5
200	130	25	60	97,5	92,5

Tabuľka 4.1: Rozmery jednotlivých pozícií

4.1.5 Sily pri pôsobení prítlaku tesnenia

Na záver vyhodnotenia dát získaných pomocou experimentov na prototyp, bolo pre ďalší vývoj potrebné zaoberať sa silami pôsobiacimi pri prítlaku tesnenia na prítlačné a drážkové prvky. Pri prvotných testovaniach sa používal na určenie síl dynamometer, avšak hodnoty ktoré boli namerané boli veľmi malé (v rámci 5 ÷ 10 N) a aj tie boli primárne spôsobené

vysokými třecími faktory v T-drážkách způsobenými drsností 3D tlačných dílů. Důvodem takto malých sil při takto výrazné manipulaci a změně geometrie těsnění, které se děje v fázi P4 cyklu je kombinací dvou faktorů. Prvou příčinou je samotné těsnění vyznačující se hodnotou IRHD o velikosti 65, což způsobuje vysokou elasticitu daného těsnění. Pro představu je tato hodnota velmi blízká hodnotě IRHD klasického těsnění O-kružku. Druhou příčinou je fakt, že dané těsnění není při takto navržené manipulaci nijakým způsobem prodlžované, ale nastává jen změna jeho původní geometrie po dobu přítlaču z jeho vonkajší strany. Tento fakt byl zároveň matematicky overený pomocí výpočtu spočívajícího v výpočtu vonkajší délky obvodu volného těsnění a křivky popisující vonkajší povrch stlačeného těsnění přičemž výpočet potvrdil shodnost oboch těchto hodnot.

4.2 Manipulační jednotka

Určením všech potřebných pohybů v rámci každého prvku, který musí být součástí mechanismu manipulace, následuje samotný návrh zahrnující výběr lineárních pohonů respektive komponentů pro umožnění jednotlivých pohybů pro kompletní funkčnost. Tato podkapitola je zaměřená na konkrétní výběr pohonů pro drážkové a přítlačné prvky, pohony na přísun a odsun přítlačných prvků, pohon pro lokalizaci celého manipulačního mechanismu a samotné uspořádání celého mechanismu do kompaktní jednotky. Základním elementem při řešení návrhu lineárních pohybových vedení je určení akým aktuálním způsobem budou dané pohyby vykonávány. V rámci této aplikace připadají pro vyšší zmíněné pohyby do úvahy dva aktuální typy mezi které patří pneumatické a elektrické.

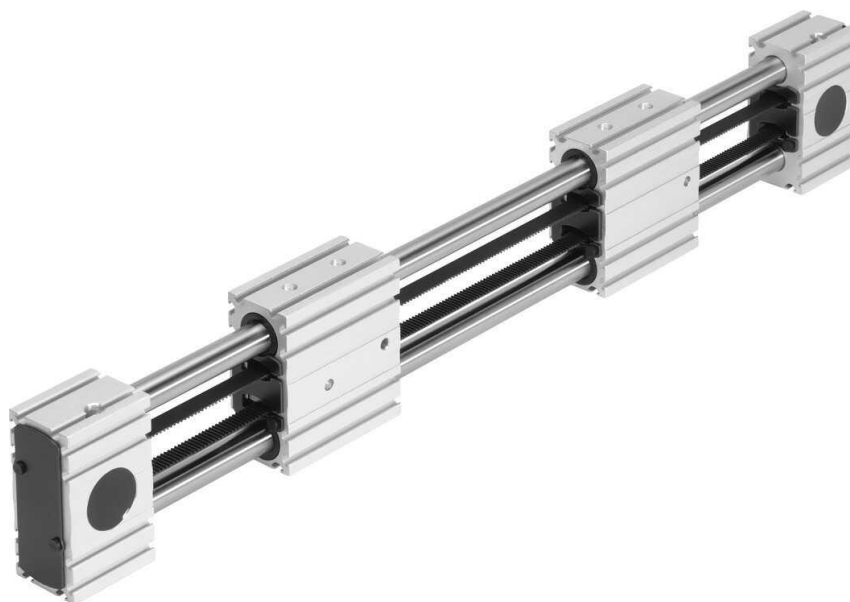
Při pneumatických pohonech stlačený vzduch pohybuje pístem v válci, obvykle mezi dvěma koncovými dorazy. Keďže pracovním médiem je vzduch, který je stlačitelný, je nutností použití těchto dorazů. Samotný pohyb je ovlivněn otváraním a zatváraním radiálních ventilů. Pneumatické pohony jsou velmi používanými prvky ve všech odvětvích průmyslu. Je to způsobené relativně nízkými obstarávacími náklady pneumatických prvků oproti elektrickým. Principiálně je možné použití řízených proporcionálních ventilů a systémů převodníků na chod pneumatických pohonů s regulací polohy, avšak v tomto momentě se stráca nákladová výhoda oproti elektrickým pohonům [12].

Na druhej strane, u elektrických respektíve elektromechanických pohonov sa rozlišuje priamočiary a rotačný pohyb. Elektromotor (servomotor alebo krokový motor) poháňa ozubený remeň alebo vreteno, ktoré zase priamočiario pohybuje saniami. V prípade kyvných pohonov a otočných modulov poháňa elektromotor priamo vnútorný rotačný mechanizmus. Servomotor alebo krokový motor sa ovláda pomocou príslušného ovládaču pre servopohony. Takéto elektromechanické riešenia sa pritom vyznačujú predovšetkým svojou robustnosťou a tuhosťou, ale taktiež presnosťou a dynamikou [13].

4.2.1 Aktuátor drážkových prvkov

Ako vyplýva z podkapitoly 4.1.3, vykonávané pohyby je nutné rozdeliť na horizontálny pár a vertikálny pár. V rámci jedného páru sú dané pohyby vykonávané synchronne a taktiež rovnomerne. Zároveň je možné vidieť veľké množstvo polôh ktoré je potreba dosahovať. Minimálny potrebný zdvih pre jeden horizontálny drážkový prvok bol determinovaný na 65 milimetrov respektíve 92 milimetrov pre vertikálny. Zároveň je nutné poznamenať, že bol kladený len minimálny nárok na záťažové sily z dôvodu popísaného v podkapitole 4.1.5. Tým pádom, z dôvodu stability, presnosti a flexibility vykonávaných pohybov je ideálnou variantou pre túto aplikáciu voľba elektrických pohonov.

Najoptimálnejším riešením, ktoré splňuje všetky podmienky za ktorých sa majú pohyby vykonávať, je jednotka ELGG od firmy Festo a je zobrazená na obrázku 4.10.



Obrázok 4.10: Elektrický pohon ELGG [14]

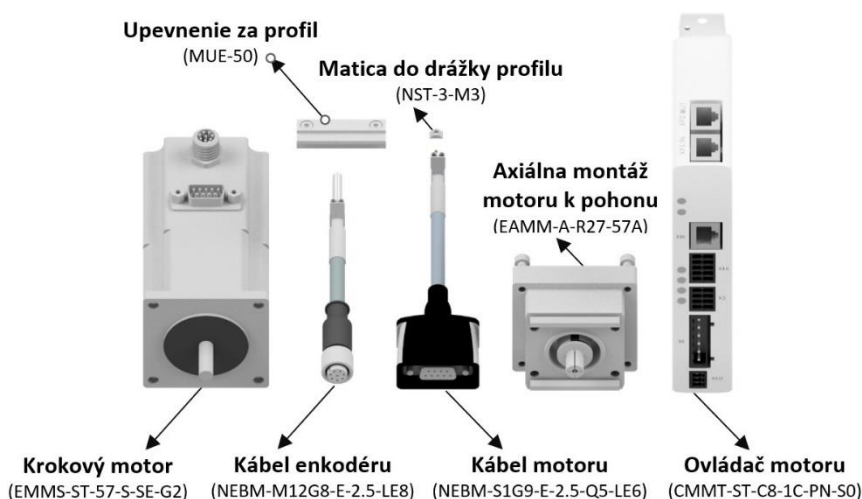
Jedná sa o pohon s ozubeným remeňom s dvomi synchrónne protibežnými saniami ktorý dosahuje vysokej spoľahlivosti vďaka testovanej životnosti 2500 km na sane [14].

Je k dispozícii v troch profilových rozmeroch a v dvoch variantách vedení a to buď s klzným alebo s vedením v obežných guľôčkových puzdrách.

Táto jednotka, ktorá je nakonfigurovaná pre túto aplikáciu má typové označenie ELGG-TB-35-120-0H-M. Tento produkt je zvolený vo variante s vedením v obežných guľôčkových puzdrách. Vyznačuje sa charakteristickou výškou profilu 35 mm, čiže jedná sa o najmenšiu jednotku z rady tohto produktu. Ku príkladu je vhodné uviesť, že v tejto verzii elektrický pohon disponuje maximálnou posunovou silou o hodnote 50 N [14]. Týchto 50 N je priradených pre obe posuvné sane, keďže tento pohon je zriadený na jednom ozubenom remeni. Táto sila je v rámci manipulácie s tesnením je postačujúca. Čo sa týka zdvihu, tak je zvolený na 120 milimetrov na jedny sane, čiže na jeden drážkový prvok čo je hodnota, ktorá je určená na základe požiadavky minimálneho zdvihu a zároveň je k tejto hodnote pridaná dostatočná rezerva. Popritom ako naznačuje označenie 0H tento zdvih je bez rezervy od koncových polôh. Písmeno M v typovom označení reprezentuje voľbu prídavnej stredovej medzi podpory. Táto medzi podpora zvyšuje sily a momenty na sane a zároveň v prípade tejto aplikácie je použitá na montáž dvoch týchto jednotiek na seba.

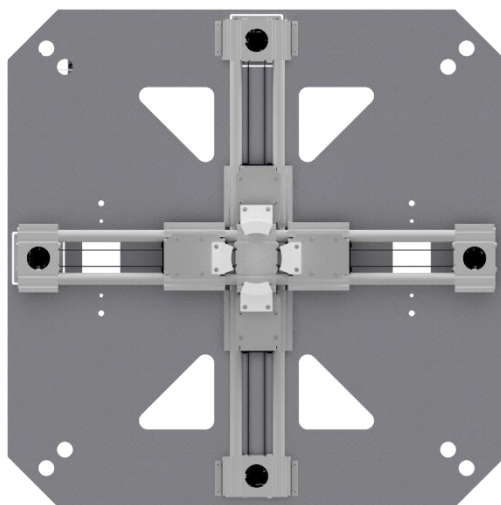
Súčasne s výberom tohto pohonu musel nastať výber v oblasti príslušenstva. Hlavným výberom v rámci elektrických pohonov je výber motoru. Tak ako je obvyklé, sú k tomuto pohonu k dispozícii dve technologické varianty motorov, buď servomotory alebo krokové motory. Technológia krokových motorov ponúka pri správnom pulzovaní veľmi precízne polohovanie v presných krokoch cez predom nastavené uhlové prírastky. Popritom, disponujú krokové motory pri zastavení veľmi vysokým krútiacim momentom, pretože vinutia motoru držia motor v statickej pozícii ako brzda [15]. Zároveň táto technológia motorov je finančne menej náročná ako technológia servomotorov. Tým pádom je vhodnejšou variantou pre tento účel varianta krokových motorov. Konkrétny motor je zvolený vo variante bez prevodovky a bez brzdy nakoľko to nie je žiadúce v tejto danej aplikácii. Avšak zvolená varianta disponuje integrovaným enkodérom s inkrementálnym odmeriavaním. Ovládač, ktorý slúži pre reguláciu polohy, rýchlosti a sily motora je na základe preferencií zadávateľskej firmy vybraný s komunikačným protokolom Profinet. K tomu príslušné elektrické káble ktorých dĺžka je volená s ohľadom na potrebnú rezervu pri realizácii zariadenia na 2.5 m.

Všetky prvky příslušenstva zahrnující jejich typové označení sú zobrazené na obrázku 4.11.



Obrázok 4.11: Príslušenstvo k pohonu ELGG

Po výbere všetkého príslušenstva umožňujúceho pohyb drážkových prvkov v rámci daných kritérií, nasleduje samotné usporiadanie prvkov. Ako je možné vidieť na obrázku 4.12, elektrické pohony sú umiestnené voči sebe o 90° čím sa dosahuje pohyb dvoch vertikálnych a dvoch horizontálnych drážiek. Tieto pohony sú uchytané o seba pomocou stredových medzi podpôr medzi ktoré je umiestnená uchytávacia doska na prepojenie oboch jednotiek. Zároveň je spodná jednotka uchytaná o nosnú hliníkovú dosku pomocou päťkových úchytiok. Nosná doska o rozmere 570×570 mm obsahuje technologické výrezy pre motory týchto dvoch pohonov a ďalších pohonov vysvetlených v ďalších častiach tejto práce. Výšková kompenzácia spôsobená montážou horizontálnej jednotky na vertikálnu je riešená zvýšením výškového rozmeru dvoch drážkových prvkov umiestnených na spodnom pohone. Drážkové prvky sú umiestnené priamo na sane pomocou dosky cez matice v T-drážkach saní.



Obrázok 4.12: Usporiadanie elektrických pohonov ELGG

4.2.2 Aktuátor prítlačných prvkov

Ako bolo možné v podkapitole 4.1.4 zmapovania pohybov prítlačných prvkov vidieť pohyby, ktoré vykonávajú prítlačné prvky sú plne synchronne a všetky prvky sa dostávajú do rovnakých pozícií. Na druhej strane počet pozícií, ktoré je potrebné dosiahnuť na vloženie jedného tesnenia je veľmi vysoký. Z tohto elementárneho dôvodu vyplýva, že použitie pneumatických riešení a to aj s použitím proporčného ventilu a prevodníkov, nie je pre tento typ vykonávaných pohybov vhodný. Práve preto, je opäť potrebné sa zamerať na elektrické akuačné spôsoby. Z prvotných úvah bola snaha vytvoriť mechanizmus schopný konať všetky pohyby všetkých štyroch prítlačných prvkov pomocou jedného motora. Avšak vytvorenie takého mechanizmu, ktorý by bol toho schopný a zároveň by bol dlhodobo spoľahlivý by si vyžadovalo dodatočný vývoj a v konečnom dôsledku by bolo takéto riešenie finančne náročnejšie. Čo sa týka existujúcich riešení na trhu, tak kladené kritéria splňovali v podstate len presné 4-čel'ustové sklíčidla. Avšak ich hlavnou nevýhodou pre túto aplikáciu je ich primárny účel, ktorým je upínanie obrobkov. Kvôli tomu sú tieto sklíčidla na zdvihy, ktoré sú pre tento účel potrebné, veľmi robustné a tuhé. To vedie k ich celkovým vysokým hmotnostiam a nekompaktným rozmerom. Zároveň na pohyby vykonávané sklíčidlom nie sú kladené vysoké nároky na dynamickosť, ale skôr na celkovú pevnosť úchytu obrobku.

Z vyššie uvedených dôvodov vyplýva, že s cieľom dosiahnuť čo najkompaktnejšie a najefektívnejšie riešenie, je vyhovujúcim riešením varianta ktorá pozostáva zo štyroch samostatných elektrických valcov. Takýmto spôsobom je získaná flexibilita pohybov jednotlivých prítlačných prvkov a dynamickosť celého mechanizmu.

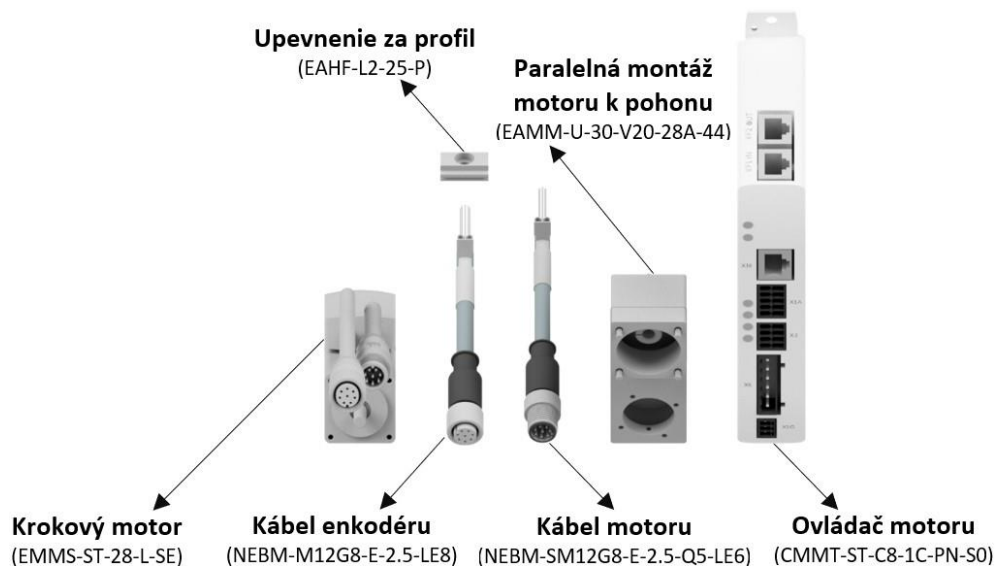
Zvoleným pohonom je elektrický valec EPCC od firmy Festo zobrazený na obrázku 4.13. Tento valec je mechanická priamočiara jednotka s pohybovou tyčou. Pohon obsahuje elektricky poháňané vreteno s guľôčkovým závitom, ktorý je schopný prevádzať točivý pohyb motora na lineárny pohyb tyče. Vreteno je s valivým uložením matice [16].



Obrázok 4.13: Elektrický valec EPCC [16]

Výberom s ohľadom na požiadavky tejto aplikácie vzniká jednotka s typovým označením EPCC-BS-25-125-2P-A. Ako bolo spomenuté, sily v týchto pohyboch nie sú hlavným kritériom z dôvodu ich veľmi malých veľkostí. Práve preto je zvolená najmenšia verzia tejto jednotky s charakteristickým rozmerom profilu 25 mm, ktorá ma maximálnu posunovú silu v ose pohybu 75 N a maximálnu radiálnu silu na hnacej hriadeľi 30 N. Na základe zmapovania pohybov prítlačných prvkov kde bol určený minimálny zdvih pre jeden pohon na 105 mm, je táto jednotka zvolená so zdvihom 125 mm. Stúpanie vretena je zvolená ako 2P čo značí stúpanie vretena 2 mm/ot. nakoľko v rámci zdvihu 125 mm s ohľadom na presnosť polohovania za cenu zmenšenej rýchlosti. Avšak maximálna rýchlosť aj v prípade takejto varianty je 0,133 m/s [16].

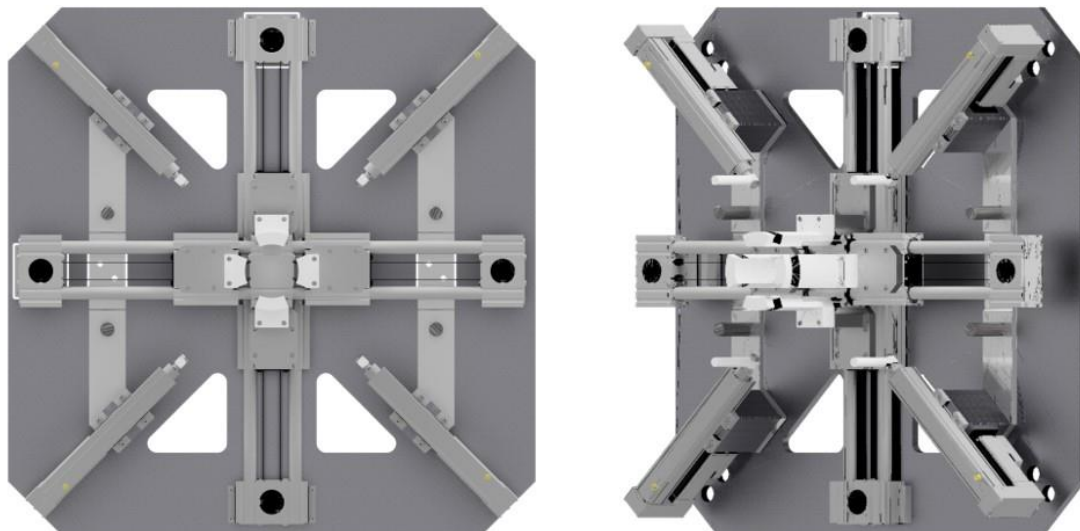
Príslušenstvo je obdobné ako u predošlého pohonu. Opäť z rovnakých dôvodov je zvolená technológia krokových motorov. Ovládací jednotka motoru je rovnaká ako u pohonu ELGG. U predošlého pohonu je použitá axiálna montážna sada motoru, v tomto prípade pre získanie dodatočnej kompaktnosti je zvolená paralelná sada, pomocou ktorej je možná montáž motoru paralelne k valci. Kompletné príslušenstvo je zobrazené na obrázku 4.14.



Obrázok 4.14: Príslušenstvo k pohonu EPCC

Uloženie týchto štyroch jednotiek je založené a zároveň funkčne plne zodpovedá zostaveniu prítlačných prvkov v prototypu. To znamená, že osi pohybu týchto štyroch elektrických valcov sú vždy súmerne vychýlené od horizontálnej a vertikálnej osi o 45°. Tým je získané rovnomerné rozloženie prítlačných prvkov, ktoré sú schopné lineárneho pohybu

nezávisle na sebe. Zároveň, je možné vidieť na obrázku 4.15, že prišlo k spárovaniu dvoch ľavých a dvoch pravých jednotiek uložením na zvyšovací blok a spoločnú uchytávaciu dosku. Dôvod tohto spárovania bude vysvetlený v nasledujúcej podkapitole.

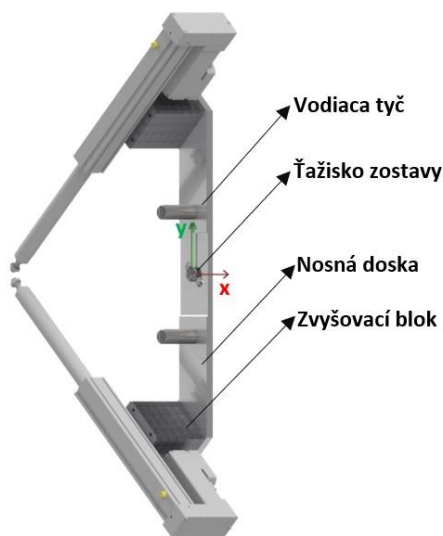


Obrázok 4.15: Usporiadanie elektrických valcov EPCC

4.2.3 Prísun a odsun prítlačných prvkov

Pre vypustenie tesnenia z prítlačného stavu v momente, kedy je celý mechanizmus v potrubí je nutné, aby všetky prítlačné prvky opustili potrubie respektíve stredovú rovinu drážiek drážkových prvkov. Tým pádom dané tesnenie stále zotrúva v tejto rovine, pretože okraj drážky drážkového prvku ho ďalej nepustí a postupne sa dostáva do procesu čiastočného návratu do svojho prirodzeného tvaru. Avšak keďže tesnenie disponuje tvarovou pamäťou, je potrebný návrat prítlačných prvkov opäť do danej roviny pre prítlak tesnenia z jeho vnútornej strany. Prísun a odsun prítlačných prvkov je pohyb, ktorý je od jednej koncovej polohy po druhú, to znamená že dĺžka tohto pohybu je pre všetky tesnenia konštantná a teda tento pohyb nie je potrebné polohovať. Tým sa stáva tento pohyb ideálnym pre pneumatické riešenia. Čo sa týka dĺžky pohybu respektíve zdvihu, tá je limitovaná spodnou časťou profilu vrchného (horizontálneho) pohonu ELGG, keďže nosná doska je uložená za týmto pohonom. Vzďialenosť spodku tohto pohonu ELGG od prednej časti nosnej dosky celého mechanizmu je 55 mm, a teda ak odčítame hrúbku nosnej dosky pohonov EPCC ktorá je 10 mm dostávame hodnotu zdvihu o veľkosti 40 mm s rezervou 5 mm. Zároveň takýmto uložením dvoch ľavých a dvoch pravých elektrických valcov na spoločnú nosnú dosku, vzniká

možnosť vykonávať pohyb vpred a vzad pomocou len dvoch pneumatických valcov. Hmotnosť jednej takejto zostavy, s ktorou je nutné pohybovať je 2,5 kg a je uložená vertikálne, tak ako na obrázku 4.16. Popritom je na tomto obrázku možné vidieť, že návrh tohto rozostavenia a jednotlivých komponent bol podriadený tomu, aby pri maximálnom zdvihu elektrických valcov bol stred hmotnosti tejto zostavy v osi pohybu pneumatického valca a k tomu, s ohľadom na vyrobiteľnosť týchto súčiastok. Tomu zodpovedá práve toto rozostavenie zobrazené na obrázku 4.16.

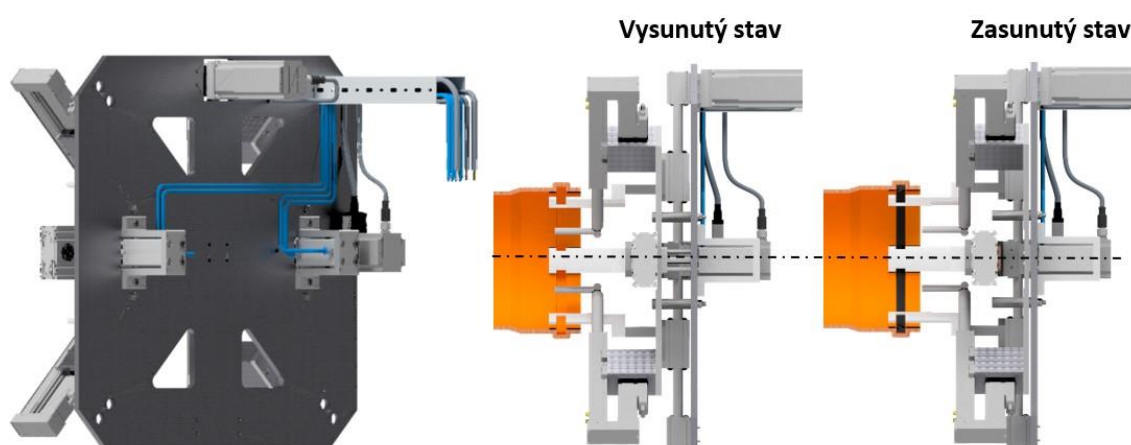


Obrázok 4.16: Optimálne rozostavenie súčiastok

Vybraným prostriedkom pre vykonávanie tohto pohybu je kompaktný dvojčinný valec s označením ADNGF-25-40-P-A, ktorý ma štandardizované rozmery v súlade s ISO 21287. Priemer piestu tohto valca je zvolený na 25 mm na základe grafu maximálnej priechnej sily v závislosti na vyložení s prihliadnutím na koeficient bezpečnosti o veľkosti 1,5. Tlak prevádzkového média týchto valcov je predpísaný výrobcom v intervale od 1,5 až po 10 barov. Zadávatelská spoločnosť má v prevádzke k dispozícii agregát na stlačený vzduch. Tento piest je poistený proti pootočeniu vodiacimi tyčami a pohybovou doskou. Tlmenie v koncových pozíciách je zvolené pomocou pružných tlmiacich krúžkov. Čo sa týka prívodu stlačeného vzduchu, je zvolená na základe doporučeného sortimentu nástrčná závitová spojka QSM-M5-6 pre priemer prívodnej hadice 6 mm. Ďalej bude prevádzkové médium privedené do škrtiaceho a redukčného ventilu a následne do elektromagnetických riadiacich ventilov [17].

Navrhnutím konkrétneho pneumatického valca a celkového rozostavenia, ktoré zahŕňa spárovanie dvoch jednotiek, vytvára sa možnosť upevniť pneumatické valce na

manipulačnú jednotku. Upevnenie pneumatických valcov o túto jednotku je sprostredkované pomocou vyrábaných prípravkov o zadnú stranu nosnej dosky jednotky. Takýmto upevnením je dosiahnuté kompaktné riešenie umožňujúce systematické usporiadanie pneumatických hadíc. Pre prehľadnosť, je na obrázku 4.17 znázornené akým spôsobom je organizovaný tento pohyb. Pri vysunutom stave pneumatických valcov je stlačené tesnenie v potrubí. Pre vypustenie tohto tesnenia prichádza k zasunutému stavu týchto valcov do odvrátenej koncovej polohy čím sa prítlačné prvky dostanú von z potrubia. Nasleduje posun prítlačných prvkov na iný rozmer a ich opätovný vstup do potrubia pre vnútorný prítlak tesnenia.



Obrázok 4.17: Zostavenie a koncové polohy pohonu

4.2.4 Polohovanie manipulačnej jednotky

Ako bolo spomenuté, dopravník v aktuálnom pracovisku kam sa bude zariadenie implementovať, disponuje pohonom s prepínaním fáz, čo mu umožňuje pohyb vpred a vzad a tým je vlastne zabezpečený transport potrubia pri hrdlovacom automate vždy do rovnakej pozície, ktorá je v blízkosti manipulačnej jednotky. Presnosť takého polohovania ± 2 mm. Takáto presnosť by v rámci tejto aplikácie a rezervy, ktorá je v drážke potrubia pre tesnenie postačovala. Avšak je potrebné si uvedomiť údaje, ktoré sú uvedené v tabuľke 3.3 a primárne hodnotu súčtu rozmerov $A + e_3 + B/2$. To je hodnota vzdialenosti prednej hrany potrubia od stredovej roviny drážky pre tesnenia. Táto hodnota nie je ako bolo zmienené konštantná pre všetky štyri rozmery potrubí a ani v rámci jedného rozmeru. Z tohto dôvodu je nevyhnuté polohovanie celej manipulačnej jednotky. Hmotnosť celej jednotky ako je zobrazená na obrázku 3.17 je 25 kg vrátane všetkých elektrických aktuátorov a ich hnacích motorov, pneumatických valcov, nosných dosiek a uchyťovacích komponentov. Táto nízka váha je

spôsobená použitím hliníkových materiálov pri vyrábaných súčiastkach a jednotlivých pohonných ústrojenstiev a taktiež výrobou niektorých súčiastok pomocou 3D tlače plastových materiálov. Čo sa týka samotného riadenia pozície, tak je zabezpečené pomocou automatického senzorkého odmeriavania z čoho vyplýva pre stabilné polohovanie použitie práve elektrických aktuátorov. Možností, ako tento pohyb sprostredkovať je niekoľko. V úvahu pripadajú jedno-osé ploché portálové systémy, alebo rôzne iné pozostávajúce z vedení, ktoré sú spojené hnanou hriadeľou. Vzhľadom na hmotnosť celej manipulačnej jednotky a toho, že je postačujúcim len lineárny pohyb v jednej ose, tak je zvolené riešenie pozostávajúce zo samostatného lineárneho vedenia a elektricky poháňaného pohonu. Takéto riešenie je zároveň z hľadiska nákladovosti tým najefektívnejším pre túto konkrétnu aplikáciu a jej požiadavky.



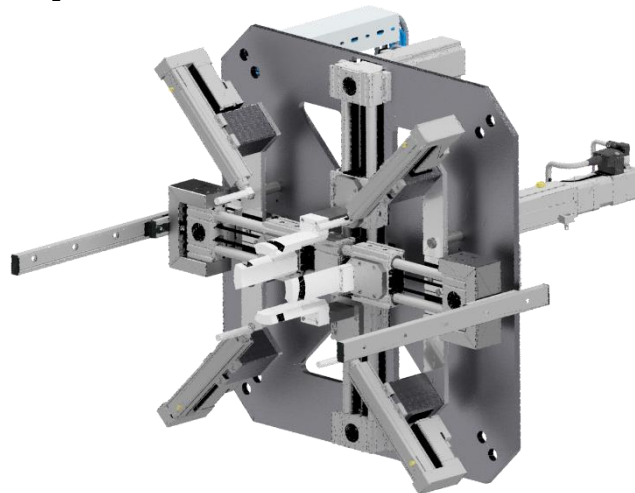
Obrázok 4.18: Lineárne vedenie [18]

Zvoleným lineárnym vedením, je vedenie Rollon Compact rail. Toto vedenie je zložené z C profilov z uhlíkovej oceli ťaženej za studena. Disponuje schopnosťou samostatného vyrovnávania pomocou ložísk. Dráhy vedenia sú indukčne kalené, čo zaručuje dlhodobú životnosť. Jazdce týchto vedení obsahujú valčeky, ktoré sú v striedavom kontakte s obežnými dráhami. Všetky jednotlivé komponenty zostavy lineárneho vedenia sú na obrázku 4.18 Konkrétnym typom tohto produktu je vodiaci profil TLC-28-00400 čím je vyznačená výška 28 mm a dĺžka 400 mm tohto C profilu. Do tohto profilu je ďalším prvkom jazdec, ktorý má typové označenie NSW28-3-2RS a teda obsahuje tri valčeky s plastovým tesnením. Tento jazdec je volený s ohľadom na celkovú hmotnosť a teda záťaž celej manipulačnej jednotky a momentu, ktorý generuje. Pri takejto konfigurácii vedenia a jazdca je umožnený pohyb od počiatočnej až po koncovú polohu o dĺžke 288 mm. Keďže celé zariadenie bude implementované do prostredia výroby, dá sa predpokladať aspoň čiastočná prašnosť

prostredia a práve preto je výhodou tohto typu vedení, že dané valčeky obiehajú vo vnútorných stranách zakrytého C profilu [18], [19].

Polohovacím aktuátorom je elektrický valec z identickej produktovej rady ako pohon prítláčnych prvkov. Zmena nastáva v parametroch tejto jednotky nakoľko je žiadúca výrazne vyššia posunová sila v smere pohybu, keďže je potreba posúvať hmotnosť o veľkosti 25 kg a zároveň brať do úvahy koeficient trenia v lineárnych vedeniach, ktoré udáva ich výrobca. Tieto požiadavky na prípustné sily splňuje pohon s charakteristickým profilovým rozmerom 45. Zdvih je určený na 250 mm. Hodnota tohto zdvihu je determinovaná s ohľadom na polohovanie v rámci potrubia a sčítaná s minimálnym prídavným priestorom, ktorý bude použitý pre mechanizmus transportu tesnenia do osi manipulačnej jednotky. Jednotka pre tento účel má typové označenie EPCC-BS-45-250-3P-A a je zvolená s príslušným krokovým motorom EMMS-ST-42-S-SE-G2.

Uchytenie manipulačnej jednotky na lineárne vedenia je realizované pomocou vyrábaných dielov v tvare písmena C pomocou ktorých je zabezpečený úchyt horizontálneho pohonu ELGG z jeho vrchnej a spodnej strany skrutkovými spojmi a tým aj spojenie celej jednotky s vedením. Zo zadnej strany manipulačnej jednotky je cez spojkový diel pripojený pohon na polohovanie. Tento pohon bude uchytený už priamo na rámovú konštrukciu zariadenia skrz pätkové upevnenia.

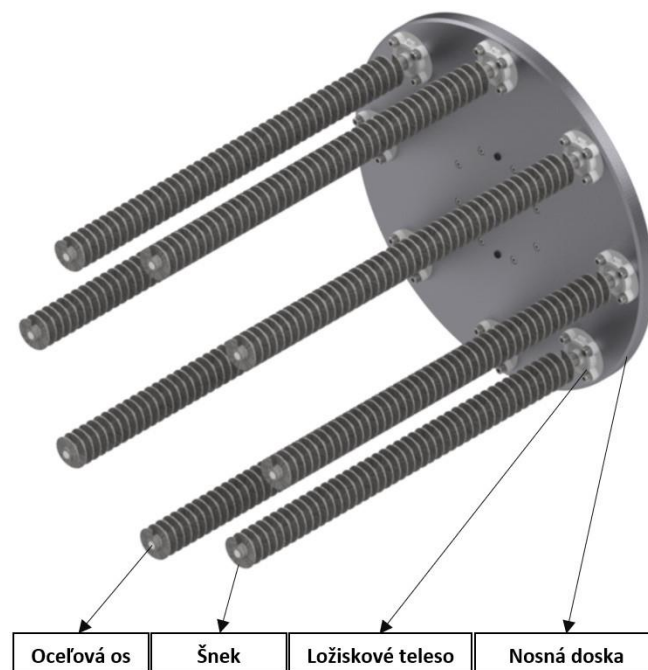


Obrázok 4.19: Manipulačná jednotka

Obrázok 4.19 zobrazuje pohľad na plne vybavenú a kompletnú manipulačnú jednotku. Celkovo obsahuje sedem elektrických pohonov a dva pneumatické valce, čím sa dosahuje súhrnnej flexibility jednotky na úrovni, pri ktorej je schopná manipulácie so štyrmi rozmermi tesnení a to bez akejkoľvek mechanickej zmeny pri zmene rozmeru.

4.3 Zásobovací jednotka

Neoddeliteľnou súčasťou zariadenia na vkladanie tesnení je zásobník tesnení. Pri návrhu zásobovacej jednotky je kladený primárny dôraz na vytvorenie systému schopného prijať čo najväčšie možné množstvo tesnení a to s ohľadom na ekonomickú efektívnosť. Jednou z možností ako sa dá zabezpečiť skladovanie a dávkovanie tesnení je pomocou robotického manipulátora. Tento robotický manipulátor by musel obsahovať kameru na spracovanie a následné vyhodnocovanie obrazu pre výber tesnenia. K tomu by musel disponovať minimálne dvojbodovým uchopovačom pre úchop tesnenia. Takéto riešenie by bolo finančne veľmi náročné a nevznikala by tým takmer žiadna pridaná hodnota. Na druhej strane ekonomicky výrazne efektívnejším spôsobom zásoby a dopravy tesnení sú šnekové dopravníkové systémy. Šneky pomocou svojej geometrie a rotácie sú schopné poháňať tesnenia uložené v jednotlivých závitoch. Preto je návrh zásobovacej jednotky podmienený práve šnekovými dopravníkovými elementami ktoré tvoria jej základný princíp funkčnosti.



Obrázok 4.20: Princíp zásobovania tesnení

Zásobovaciu jednotku bez pohonných ústrojenstiev je možné vidieť na obrázku 4.20. Skladá sa z ocelevej osi, plastových šnekov, ložiskového telesa a celé je to zostavené v nosnej kruhovej doske. Šneky sú plastové a duté. Čo sa týka ich vlastností, tie sú optimalizované, aby zaručene dopravovali všetky štyri rozmery tesnení. Ku príkladu je vhodné uviesť, že majú výšku 60 mm so stúpaním 18 mm na dĺžke 810 mm, čím sa získava celkový počet 45

závitov. Šnek bude vyrábáný po tretinách dĺžky technológiou 3D tlače, čím sa dosahuje významnej cenovej optimalizácie. Zároveň je získaná výrazná hmotnostná výhoda, nakoľko oceľový šnek s takýmito charakteristickými rozmermi by vážil minimálne 5 kg, avšak táto jeho plastová verzia má hmotnosť menej ako 0,5 kg. Na druhej strane diel vyrobený technológiou 3D tlače nedosahuje povrchovú kvalitu na úrovni oceľového, avšak vzhľadom na účel je povrch plne postačujúcim. Tieto šneky sú duté z dôvodu, aby mohli byť nasadené na oceľovú os, ktorá je ďalej osadená v ložiskových telesách. Tieto ložiskové telesá sú uložené a skrutkovými spojmami pripevnené k hliníkovej nosnej doske celej sústavy o priemere 720 mm s hrúbkou 30 mm. Princíp činnosti takto zostaveného zásobníku je nasledovný. Príslušný pracovník vloží celkovo 45 tesnení na každý šnek. Následne bude rotovaný vždy práve jeden šnek, ktorý bude tesnenia dávkovať. Po vyčerpaní zásob daného šneku príde k rotácii celej jednotky o 45°, čím sa dostáva do dávkovacej polohy ďalší šnek a celý cyklus sa takto odohráva 8 krát, čím sa dosiahne vyprázdnenie celej kapacity zásobníku. Z tohto principiálneho vysvetlenia vyplýva, že je potrebné zabezpečiť samostatnú rotáciu všetkých šnekov a rotáciu celej jednotky.

Pre rotáciu celej jednotky je možným vybavenie nosnej dosky hriadeľou, ktorá by bola poháňaná pomocou hnacej motorovej hriadele skrz remeň. Avšak pri takýchto rozmeroch nosnej dosky a záťaže, je potrebné dosiahnutie veľkého krútiaceho momentu. Tento moment by mohol byť spôsobený výkonným motorom napojeným na prevodovku s vysokým prevodovým stupňom. Zároveň by celá takáto konštrukcia musela byť navrhovaná s potrebnou tuhosťou, keďže je vyžadovaná inštalácia priamo na nosnú dosku ktorú je potrebné týmto spôsobom pridržiavať.

Ideálnym a kompaktným riešením takeéhoto polohovania je dutý rotačný aktuátor zobrazený na obrázku 4.21.



Obrázok 4.21: Rotačný aktuátor [20]

Ten prevádza rotáciu hriadele motora na rotáciu celej príruby. Vďaka použitiu špeciálnych ložísk nie je vyžadovaná žiadna prídavná podporná konštrukcia, a teda je možná priama inštalácia príruby aktuátora na povrch nosnej dosky zásobovacej jednotky. Popritom je táto konštrukcia navrhovaná pre montáž motora v akomkoľvek smere a disponuje úložným miestom pre fotoelektrický senzor pre nábeh do referenčnej polohy [20]. Aktuátor je pre túto aplikáciu spárovaný s prevodovkou s prevodovým pomerom 1:40. K tomuto aktuátoru je vybraný servomotor s menovitým výkonom 1 kW od firmy Siemens.

V rámci riešenia rotácie jednotlivých šnekov nie je či už z ekonomického hľadiska alebo z energetickej náročnosti výhodné, vybaviť každý jeden šnek svojím vlastným motorom. Preto sú použité magnetické spojky, pomocou ktorých nastáva redukcia počtu motorov na jeden motor pre všetkých 8 šnekov.

Magnetické spojky sú spojky, ktoré sú schopné prenášať krútiaci moment bez mechanického kontaktu, skrz vzduchovú medzeru za prítomnosti magnetického poľa. Absencia mechanického kontaktu zároveň nespôsobuje žiadne opotrebenie spojok. Spojky sú zložené z dvoch protilahlých nábojov, v ktorých sú osadené silné a vzácne zemské magnety. Ich hlavným využitím sú aplikácie vyžadujúce hermetickú izoláciu medzi dvomi rotačnými súčiastkami alebo v aplikáciách, kde je potrebné zaručiť ochranu dielov proti preťaženiu pomocou sklzu spojky [21], [22].



Obrázok 4.22: Magnetické spojky [21]

Vybrané spojky sú označené ako PMK 50, čím je vyznačený vonkajší ich priemer 50 mm a sú zobrazené na obrázku 4.22.

Závislost krútiaceho momentu a axiálnej sily na vzduchovej medzere týchto konkrétnych spojok je číselne vyjadrená v tabuľke 4.2.

PMK 50		
Vzduchová medzera	Krútiaci moment	Axiálna sila
[mm]	[Nm]	[N]
1	3,00	210
2	2,25	157
3	1,65	112
4	1,30	82
5	1,00	60
6	0,78	47
7	0,62	37
8	0,47	29
9	0,37	23
10	0,30	17

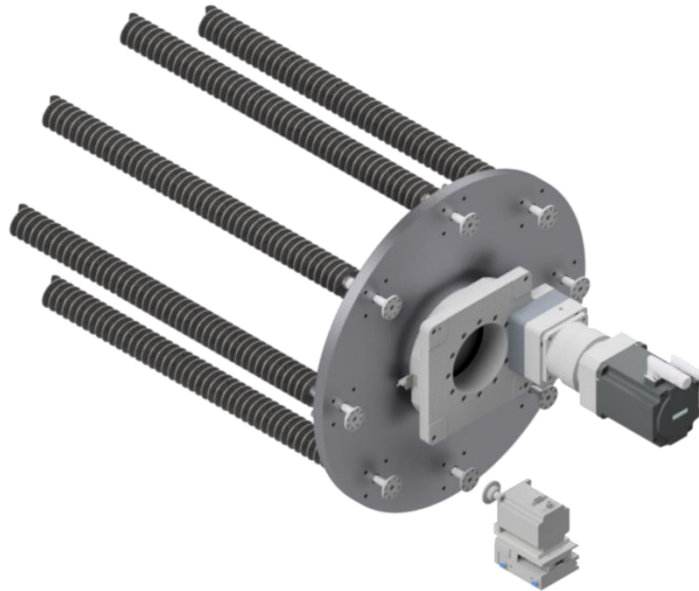
Tabuľka 4.2: Závislosť veličín na vzduchovej medzere [21]

Ako hnacia jednotka šnekov je na základe potrebných výpočtov zvolený krokový motor Festo EMMS-ST-87-SE-G2, ktorý je najväčším v rámci produktovej rady krokových motorov výrobcu.

Pri opätovnom pohľade na veľkosti axiálnych síl, ktoré generuje magnetické pole spojok, je možné vidieť ich významnú veľkosť pri menších vzduchových medzerách, ktorú nie je možné zanedbať. Táto sila by zároveň pôsobila proti pohybu celej jednotky, čo by spôsobovalo zvýšené nároky na výkonové parametre motoru. Zároveň by to prinášalo celkové zasekávanie rotácie jednotky pri odpútavaní spojky na motore so spojkou na osi od magnetického poľa. Preto je potrebné, s daným hnacím motorom vykonávať pohyb, ktorý zabezpečí aby pri rotácii jednotky bola hnacia spojka vzdialená od hnanej v potrebnej vzdialenosti, v mieste kde už nepôsobia sily od magnetického poľa. Číže motor musí byť prisunutý pri rotácii šneku a odsunutý pri rotácii jednotky. Potrebná vzdialenosť je určená exponenciálnou aproximáciou hodnôt udávaných výrobcou spojok. Veľkosť tejto vzdialenosti dvoch spojok v ktorej už nepôsobí magnetické pole je 11,5 mm.

Na realizáciu tohto pohybu je zvolený dvojpístový pneumatický pohon Festo DGST so saniami, ktorý disponuje veľkými posunovými silami. Práve posunová sila je kritickým faktorom, pretože je potrebné pri pohybe vzad prekonať silu vyvolanú magnetickým

pořím, ktorá je pri vzduchovej medzere 1 mm o veľkosti 210 N. Tento pohon v konfigurácii DGST-25-50-E1A je pri tlaku 6 barov schopný vyvodit' teoretickú silu o veľkosti 589 N pri pohybe vpred a 495 N pri pohybe vzad čo sú postačujúce hodnoty pre realizáciu pohybov v tejto úlohe. Zdvih je zvolený na 50 mm čo zahŕňa potrebnú vzdialenosť a prídavnú rezervu [23].



Obrázok 4.23: Zásobovacia jednotka

Zostavením všetkých vybraných komponentov a navrhnutých dielov vzniká kompletná zásobovacia jednotka zobrazená na obrázku 4.23. Takto navrhnutá jednotka je kompaktným a cenovo efektívnym riešením zásobovania a dávkovania tesnení. Opäť je to riešenie, ktoré nevyžaduje mechanickú a v prípade tejto jednotky ani programovú zmenu pri zmene rozmeru tesnenia. Celková kapacita zásobníku je 360 tesnení.

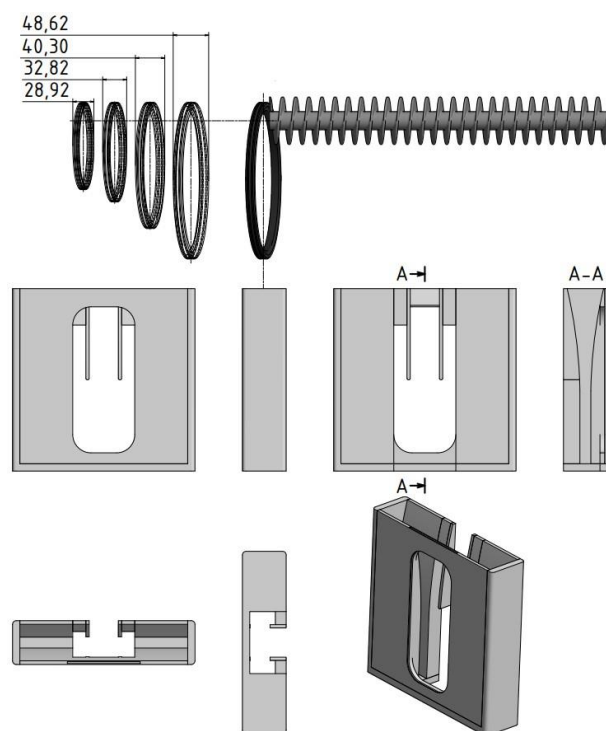
4.4 Transport tesnení

Po kompletnom návrhu manipulačnej jednotky a jednotky zásobovania tesnení je nevyhnutné vyriešiť, akým spôsobom bude realizovaný transport tesnenia zo šnekov do osi manipulačnej jednotky. Základným parametrom potrebným pre vyriešenie tejto úlohy je samotné rozmiestnenie oboch jednotiek voči sebe. Pre riešenie rozmiestnenia je vhodné uviesť, že stred manipulačnej jednotky musí byť z dôvodu výšky dopravníku potrubí vo výške 800 mm od podlahy. Tým pádom do úvahy vzhľadom na realizovateľnosť pripadajú dve možné varianty vzájomného rozmiestnenia týchto jednotiek. Prvá varianta zahŕňa umiestnenie

zásobovacej jednotky na bočnú stranu manipulačnej jednotky. Táto varianta obsahuje komplikáciu v podobe lineárnych vedení. Tieto vedenia by bolo potrebné obchádzať buď zo spodu alebo z vrchu a tým pádom by bolo nutné, aby mechanizmus transportu disponoval jednou pohybovou osou vo vertikálnom smere a druhou v horizontálnom smere. Lineárny pohyb v dvoch osách by bol potrebný aj v prípade iného bočného rozmiestnenia. Druhou variantou je rozmiestnenie so zásobovacou jednotkou umiestnenou nad manipulačný mechanizmus. Týmto rozmiestnením je eliminovaná nutnosť pohybu v dvoch osiach a je teda potrebné vykonávanie pohybu len vo vertikálnom smere. Zároveň sa týmto uložením získava kompaktná šírka.

V takomto rozmiestnení kde je možné nastaviť koniec šnekov presne na miesto, kam je potrebné, aby dané tesnenie spadlo a s tým, že je celá manipulačná jednotka polohovateľná, ostáva vyvinúť diel, do ktorého dané tesnenie zo šneku spadne a stabilizuje sa, aby mohlo byť presunuté do osi manipulačnej jednotky. V momente, keď bude tesnenie v osi nastáva pracovný cyklus P1 a P2 z podkapitoly fázy manipulácie 4.1.2 pri ktorých sú prítlačné prvky v zasunutom stave. K tomu je potrebné, vybrať pohon na presun z osi šneku do osi manipulačnej jednotky.

Vyvinutý diel zabezpečujúci miesto pádu tesnenia a jeho stabilizáciu je možné vidieť na obrázku 4.24, ktorý zahrňuje všetky potrebné pohľady.



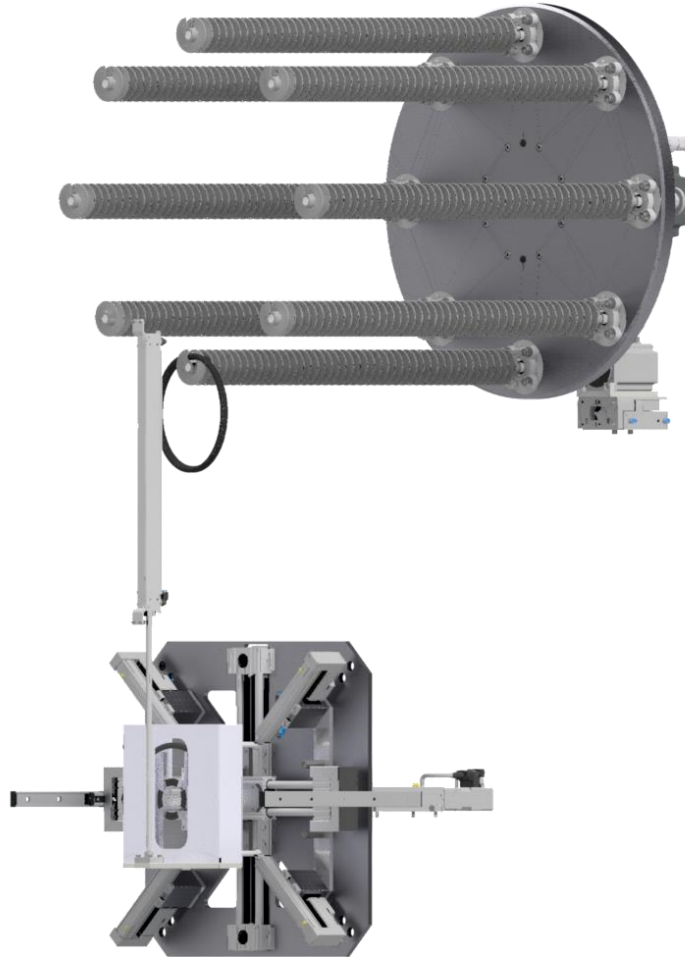
Obrázok 4.24: Stabilizačný diel transportu tesnení

Pri vývoji je brané do úvahy, že dané tesnenia môže spadnúť zo šneku s uhlovým vychýlením až do 10° , čo spôsobuje zväčšenie jeho šírkového rozmeru. To je opatrené rozšíreným vstupným priestorom tohto dielu. Od vrchnej časti dielu nastáva postupné zužovanie smerom k spodnej časti, čím sa docieli potrebnej fixácie tesnenia. Toto zúženie naznačuje pohľad v reze súčiastky. Toto zužovanie prebieha taktiež z bočnej strany, aby došlo k centrovaniu tesnenia počas jeho pádu aj v tomto smere. Zo zadnej strany sú vytvorené technologické výrezy, ktoré umožňujú vstup drážkových prvkov. Celý proces s touto súčiastkou je nasledovný: rotáciou šneku sa docieli pád tesnenia do tohto dielu a nastáva stabilizácia tesnenia, nasleduje transport dielu s tesnením do osi manipulačnej jednotky, príchod manipulačnej jednotky tak, aby stred drážiek drážkových prvkov korešpondoval so stredom tohto dielu a tesnenia, následne sa vertikálne drážky rozťahnu, čím nastane zapadnutie tesniaceho krúžku do horizontálnych drážiek, posledným krokom je návrat dielu do hornej pozície s tým, že manipulačná jednotka už disponuje rozťahnutým tesnením a môže pokračovať do ďalšej fázy manipulácie. Tento diel bude z dôvodu zložitosti svojej geometrie vyrábaný pomocou 3D tlače a bude mať hmotnosť 1,5 kg.

Na vertikálny pohyb tohto dielu je použitý dvojčinný pneumatický pohon DZH-25-400-PPV-A. Tento valec disponuje oválnym piestom, ktorý slúži ako poistenie proti pootočeniu. Celá konštrukcia tohto plochého valcu je zcela kompaktná [24]. Zdvih je zvolený na 400 mm. Táto hodnota je určená s ohľadom na ergonómiu pri vkladaní tesnení do zásobovacej jednotky tak, aby postranné 3 šneky boli v dosiahnuteľnej a pohodlnej výške pre príslušného pracovníka. Tento valec bude uchytený cez pätkové upevnenia priamo na rámovú konštrukciu.

Implikáciou použitia pneumatického valca, vzniká potreba, aby boli pre rozdielne rozmery tesnení rozdielne aj diely pre stabilizáciu tesnenia. To znamená, že je možnosť, pokryť tesnenia pre rozmery potrubí 110 a 125 do jedného dielu, avšak samostatne pre 160 a 200. Dôvod je ten, že daný zdvih je vykonávaný od jednej koncovej polohy po druhú, avšak pri páde tesnenia do dielu, sú stredy týchto tesnení na diametrálne odlišných výškových pozíciách. Tým pádom je teda nevyhnuté mať pre tieto štyri rozmery tesnení k dispozícii tri diely také ako sú zobrazené na obrázku 4.24 s tým, že každý jeden z týchto troch má optimalizovanú vnútornú geometriu na to, aby pri vysunutí celého zdvihu bolo tesnenie vycentrované na stred manipulačnej jednotky. Varianta, ktorá by tento problém riešila, by obsahovala jeden

stabilizačný diel s elektrickým pohonom, ktorý by bol schopný polohovať zdvih na potrebné vzdialenosti v rámci všetkých tesnení osobitne. Na druhú stranu, tento diel je spojený o pneumatický valec cez uchyťavaciu dosku a to za pomoci len dvoch skrutiek, čím je maximálne redukovaný čas potrebný na konfiguráciu pri zmene rozmeru vyrábaných potrubí.



Obrázok 4.25: Realizácia transportu tesnení

Na obrázku 4.25 je možné vidieť zostavenie mechanizmu transportu tesnení s príslušnými komponentami a pneumatickým valcom v dolnej úvrati s drážkovými prvkami vo fixačnej súčiastke pri výbere 359. tesnenia pre potrubia DN 200. Zároveň je možné si pri tomto obrázku povšimnúť ďalšiu veľmi významnú výhodu takéhoto rozostavenia doposiaľ navrhnutých jednotiek. V momente, keď je pneumatický valec pre transport tesnení v hornej úvrati, tak spodok uchyťavacej dosky stabilizačného dielu je nad celou manipulačnou jednotkou. Tým sa získava možnosť vykonávať dva pracovné cykly naraz a to konkrétne vkladanie tesnenia do potrubia a zároveň dávkovanie tesnenia šnekom do stabilizačného dielu. Tým sa získava značná časová úspora kompletného pracovného cyklu zariadenia.

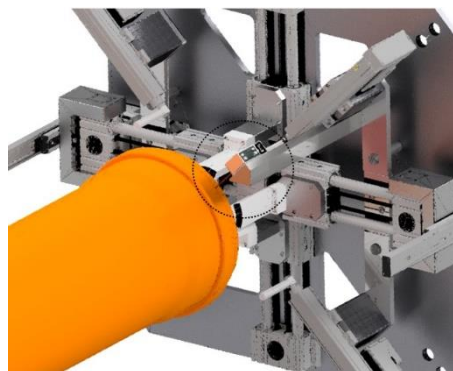
4.5 Senzorické vybavenie

Táto podkapitola je zameraná na výber senzorického vybavenia pre kompletnú funkčnosť zariadenia. Konkrétne sú v tejto podkapitole vybrané senzory na inicializáciu systému pohonov, riadiaci senzor pre polohovanie manipulačnej jednotky a senzor overenia pádu tesnenia zo šnekových dopravníkov.

Pre inicializáciu a správnu funkciu všetkých pohonov, ktoré zariadenie obsahuje, je nevyhnutnosťou, aby mali vo svojej konštrukcii integrované približovacie senzory. V prípade pohonov pre drážkové prvky je použitý indukčný približovací senzor nachádzajúci sa v drážkach profilov. V ostatných pohonoch sú použité približovacie senzory SDBT-MSX-1L-PU-E-2.5-N-LE zobrazené na obrázku 4.26. Tieto snímače sú schopné samočinného učenia spínacieho bodu pri spustení zariadenia [25]. Fungujú na princípe Hallovho efektu. Jedná sa v podstate o posúvanie magnetického poľa v okolí senzoru. V takomto prípade je os magnetického poľa paralelne k osi takéhoto Hallovho senzoru avšak magnet sa pohybuje kolmo k magnetizačnej osi a pri dostatočnom priblížení magnetu k senzoru nastáva zopnutie digitálneho výstupu [26]. Šírka zopnutia tohto konkrétneho senzoru je v intervale od 2 do 15 mm [25]. Implementácia týchto senzorov do pohonov je zabezpečená buď cez skrutku do T-drážiek alebo cez rôzne upevňovacie prípravky.



Obrázok 4.26: Približovací senzor [25]



Obrázok 4.27: Sick OD mini [27]

Obrázok 4.28: Umiestnenie senzoru OD mini

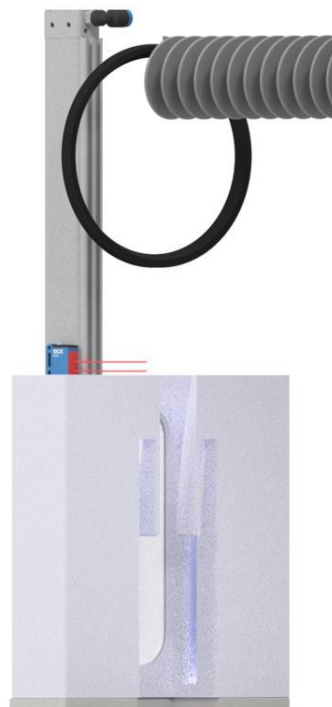
Ďalším senzorom v poradí, je laserový senzor merania vzdialenosti Sick OD1-B100H50I14 (viď Obrázok 4.27 s jeho umiestnením na Obrázku 4.28) z produktovej rady OD

Mini. Tento senzor je určený pre účel polohovania manipulačnej jednotky pričom primárnym detekčným bodom je hrana začiatku drážky pre tesnenie potrubia. Tento senzor je umiestnený priamo na manipulačnú jednotku s tým, že laserový lúč je voči ostatným prvkom tejto jednotky napred a je ním odmeriavaná vzdialenosť, ktorá sa bude ďalej vyhodnocovať a následnou determináciou rozhodovať o dĺžke pohybu jednotky. Jedná sa o laserový triangulačný senzor. Výhodou použitia senzorov s laserovým zdrojom je, že vyžarovaný lúč disponuje silným jasom, koherenciou a kompaktnosťou. Vďaka silnému jaslu lúča sú premietané vzory takmer úplne imúnne voči pôsobeniu okolitého svetla [28]. Konkrétny typ je s nastaviteľným rozsahom merania od 50 do 150 mm s presnosťou opakovania 20 μm a lineariťou $\pm 100 \mu\text{m}$. Veľkosť svetelného lúča pri vzdialenosti 100 mm od meraného objektu je $700 \times 600 \mu\text{m}$ [27].

Posledným zmieňovaným, je optoelektronický senzor WTB9L-3P2461 (viď obrázok 4.29), ktorého úlohou je dvojfaktoriálne overovanie pádu tesnenia zo šneku keďže dané tesnenie zacloní laserový lúč pri páde dvojnásobne. Je umiestnený priamo pri pneumatický pohon tak, ako je zobrazený na obrázku 4.30, čo najbližšie do vertikálnej osi tesnenia, aby medzi dvomi signálmi vznikol čo najväčší časový priestor. Tento senzor má snímací dosah od 25 do 300 mm a vysielačom svetelného lúča je laser. Vo vzdialenosti 170 mm je veľkosť vysielaného bodu 1 mm [29].



Obrázok 4.29: Sick W9 [29]



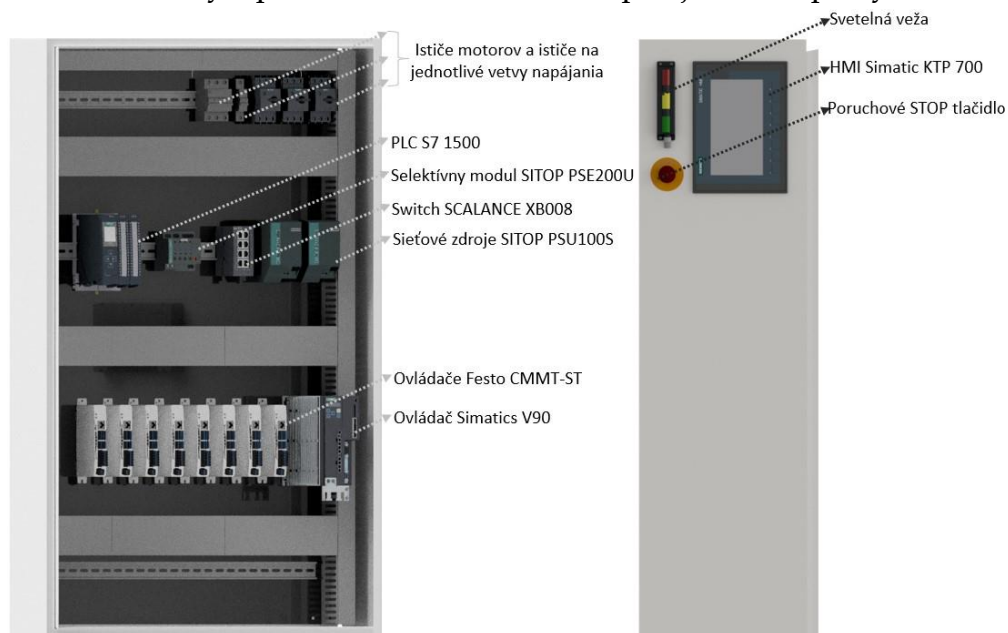
Obrázok 4.30: Umiestnenie senzoru W9

4.6 Elektrické vybavenie

Táto podkapitola je zameraná na výber elektrických prvkov zariadenia. Samotný elektrický rozvádzač je zvolený vzhľadom na priestorové požiadavky jednotlivých prvkov na rozmer 600 (šírka) x 1200 (výška) x 300 (hĺbka) mm.

Elektrický rozvádzač je vybavený programovateľným automatom, ktorý zabezpečuje celú riadiacu činnosť zariadenia. Jednotlivé komponenty sú vybrané tak, aby boli navzájom prepojiteľné. V danej riadiacej topológii PLC komunikuje s ostatnými komponentami pomocou komunikačného protokolu Profinet v asynchrónnom móde. Konkrétna jednotka PLC je zvolená na základe kritérií zahmujúcich krátky riadiaci cyklus a vzhľadom na komunikačné rozhranie. Z bočnej strany elektrického rozvádzaču (vid' obrázok 4.31) je zabezpečená interakcia medzi pracovníkom a zariadením cez ovládací panel (HMI). HMI je vybavené svetelnou vežou, ktorá signalizuje v akom stave sa zariadenie v danom momente nachádza.

Senzorické vybavenie stroja je napojené na vstupnú kartu daného PLC (vstupná karta pre digitálne vstupy a vstupná karta pre analógové vstupy). Okrem pneumatických ventilov, ktoré sú napojené na výstupnú kartu PLC, sú všetky ostatné aktuátory riadené cez komunikačný protokol Profinet. Jednosmerné napájanie 24V je rozdelené na dve hlavné vetvy pričom každá vetva disponuje vlastným zdrojom napätia. Prvou vetvou je silové napájanie ovládačov k elektrickým pohonom, druhá vetva zabezpečuje riadiace prvky.



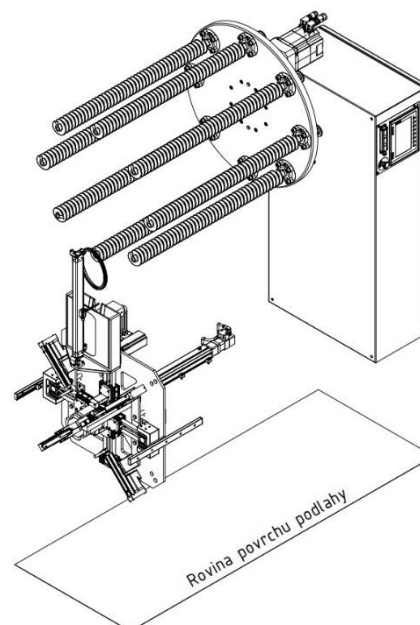
Obrázok 4.31: Elektrický rozvádzač

4.7 Rámová konstrukcia

Po návrhu všetkých jednotiek a kompletného príslušenstva súvisiaceho so zariadením, nasleduje podkapitola, ktorá je zameraná na návrh rámovej konštrukcie. S tým plne súvisí samotné rozmiestnenie všetkých prvkov viditeľných na obrázku 4.32, čím vznikajú konkrétne pozície, ktoré sú potrebné uchytíť o rámovú konštrukciu. Čo sa týka manipulačnej jednotky jej výška je pevne daná výškou dopravníku v danej výrobní linke a je potrebné uchytíť lineárne vedenia ktoré nesú hmotnosť celej jednotky na rámovú konštrukciu. Popri tom je zároveň potrebné uchytíť elektrický pohon na polohovanie celej jednotky.

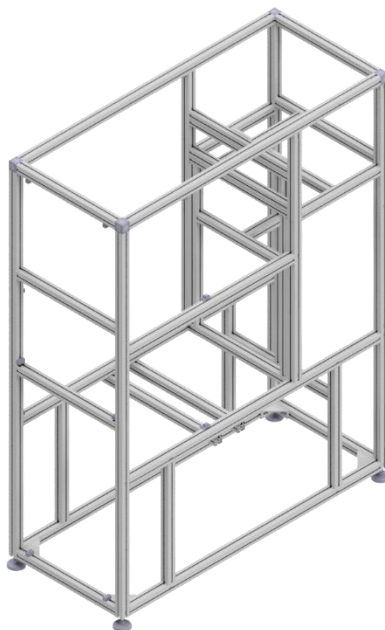
Pozícia zásobovacej jednotky nad manipulačnou je prebraná vo svojej samostatnej podkapitole. Táto jednotka je zároveň najťažším elementom celej zostavy so súhrnnou hmotnosťou 50kg. Preto je úchyt tejto jednotky realizovaný zo zadnej strany dutého rotačného aktuátora, čo je miesto, ktoré je v blízkosti ťažiska tejto jednotky. Keďže je to miesto s najväčšou záťažou, musí byť rámová konštrukcia v týchto miestach spevnená.

Elektrický rozvádzač je umiestnený za zásobovacou jednotkou pod motor rotácie jednotky. Nie je možné tento rozvádzač umiestniť pod túto jednotku, nakoľko by zospodu nezostával dostatočný priestor na inštaláciu kabeláže. Zároveň umiestnením za, vzniká možnosť inštalácie rozvádzača do ideálnej výšky tak, aby bol ovládací panel v úrovni očí. Uchytenie elektrického rozvádzača nastáva v dvoch miestach zo zadnej strany skrz na to určené diery pre skrutky.



Obrázok 4.32: Rozmiestnenie prvkov zariadenia

Takýmto rozložením prvkov a vytýčením potrebných úchytných bodov je následne možné vytvoriť rámovú konštrukcia zariadenia (vid' Obrázok 4.33). Táto konštrukcia pozostáva z hliníkových profilov s T-drážkami s charakteristickým rozmerom 50 x 50 mm. Spojenie jednotlivých profilov je realizované pomocou podporných prvkov (interných a externých) a kubických spojovacích dielov. Celá rámová konštrukcia je uložená na modulárnych podstavcoch. Vzhľadom na nízke hodnoty jednotlivých zaťažení, nie je nutné vykonať kontrolu metódou konečných prvkov. Výsledkom použitia hliníkových profilov je nadobudnutá modulárnosť rámovej konštrukcie, ktorá môže byť využitá v prípade rozširovania funkcií zariadenia a tým vyvolených iných nárokov. Zároveň takáto konštrukcia je výrazne ľahšia oproti železnej.



Obrázok 4.33: Rámová konštrukcia

Finálnym zostavením a upevnením uchytačiacich bodov jednotlivých jednotiek s rámovou konštrukciou vzniká kompletný koncept zariadenia na automatické vkladanie tesnení. Celé zariadenie je zobrazené na nasledujúcej strane na obrázkoch 4.34 a 4.35 v dvoch pohľadoch. Pre bezpečnú prevádzku, je zariadenie osadené plechmi o hrúbke 4 mm a plexisklom o hrúbke 5 mm. Vrch zariadenia ostáva odkrytý pre optimalizáciu tepelnej bilancie z dôvodu početného použitia dielov z plastov. Zároveň sú na rámovú konštrukciu namontované dvojce samostatné dverové vstupy, vrchný pre dávkovanie tesnení a spodný ako servisný. Elektrický rozvádzač je zabudovaný do rámovej konštrukcie stroja tak, aby bol prístupný.



Obrázok 4.34: Predná a bočná strana zariadenia

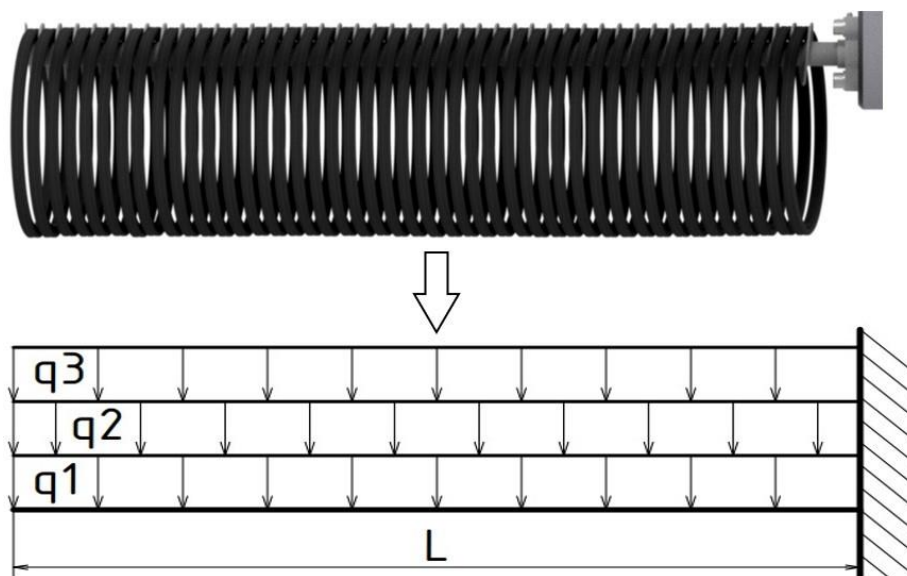


Obrázok 4.35: Zadná a bočná strana zariadenia

5 Výpočtová část

Táto práca vyžadovala veľké množstvo výpočtov pre kontroly a požiadavky na dané aktuátory a motory. Tieto výpočty a ich správnosť boli konzultované s konzultantmi jednotlivých dodávateľských firiem a z dôvodu obsiahlosti nie sú zakomponované v tejto práci. Avšak výber jednotlivých komponentov je na základe požadovaných kritérií zdôvodnený v daných podkapitolách, kde sú zároveň dané kritériá stanovené.

Zmieneným návrhovým respektíve kontrolným výpočtom je úloha, ktorá sa zaoberá priehybom osi v zásobovacej jednotke, na ktorej je nasadený šnek a tesnenia. Jedná sa hlavne o prípad, kedy je šnek obsadený na plnú kapacitu tesneniami pre rozmer potrubia DN200 keďže práve tie sú najťažšie. Jeden takýto samostatný tesniaci krúžok váži 73,8 g. Z dôvodu blízkosti tesnení vedľa seba, je možné úlohu zjednodušiť a nepočítať so 45 osamelými silami s roztečou medzi sebou, ale previesť toto zaťaženie na spojité. Zároveň je nutné v tejto úlohe brať do úvahy záťaž spôsobenú váhou samotného šneku a osi ako takej.



Obrázok 5.1: Zjednodušený model reálnej situácie

Tým pádom vzniká zjednodušený model zobrazený na obrázku 5.1, ktorý dané sily prevádza na 3 spojité zaťaženia zaťažujúce staticky určitý votknutý nosník.

Os bude vyrábaná z konštrukčnej ocele 11 500 s nasledovnými rozmermi.

$$E = 2,1 \cdot 10^5 [N \cdot mm^{-2}]$$

$$d = 25 [mm]$$

$$L = 836,5 [mm]$$

$$\rho = 7850 [kg \cdot m^{-3}]$$

Pomocou hmotností osi, šneku a 45 kusov tesnení DN 200 vypočítaných pomocou softwaru je možné na základe dĺžky osi definovať jednotlivé spojitě zaťaženia.

Spojité zaťaženie od samotnej osi, ktorej hmotnosť je vypočítaná na 3,22 kg

$$q_1 = 3,85 \cdot 10^{-2} [N \cdot mm^{-1}]$$

Spojité zaťaženie od šneku, ktorého hmotnosť je vypočítaná na 0,3 kg

$$q_2 = 3,59 \cdot 10^{-3} [N \cdot mm^{-1}]$$

Spojité zaťaženie od 45 kusov tesnení pričom váha jedného tesnenia DN 200 je 73,8 g

$$q_3 = 3,97 \cdot 10^{-2} [N \cdot mm^{-1}]$$

Ohybový moment od jednotkovej sily

$$m_o = -x \quad (5.1-1)$$

Ohybový moment od spojitých zaťažení

$$M_o = -(q_1 + q_2 + q_3) \cdot \frac{x^2}{2} \quad (5.1-2)$$

Kvadratický moment kruhové prierezu

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (5.1-3)$$

Výsledný priehyb na konci

$$v_{max} = \int_0^L \frac{1}{E \cdot J} \cdot (M_o \cdot m_o) \cdot dx \quad (5.1-4)$$

Po integrácii a dosadení hodnôt je výsledný priehyb

$$v_{max} = 1,243 [mm]$$

Hodnota výsledného priehybu je 1,243 mm avšak je nutné poznamenať, že takéto zaťaženie nebude trvalé a teda jedná sa o krátkodobý stav a v prípade iných tesnení bude toto zaťaženie výrazne nižšie. Zároveň je náročnosť na zaťaženie pri takomto zjednodušení značne väčšia ako v reálnej modelovej situácii pri použití 45 samostatných síl. Taktiež hmotnosť plastového šneku bude menšia, keďže šnek nebude vyrábaný ako plný materiál ale so štruktúrou určitej hustoty. Práve preto sa dá tato hodnota považovať za akceptovateľnú a v prípade potreby, je možná zmena materiálu osi alebo zväčšenie priemeru osi.

6 Závěr

Úlohou tejto bakalárskej práce je automatizácia montáže tesniacich krúžkov pre štyri rozmery kanalizačných potrubí od nominálneho priemeru 110 mm po 200 mm. Proces automatizácie je systematicky zložený z niekoľkých samostatných celkov, ktorých súhrnným výsledkom je návrh jednoúčelové zariadenia na automatické vkladanie tesnení.

Prvú časť procesu reprezentuje analýza. V tejto časti je popísaný proces samotnej výroby plastových potrubí. Zároveň je súčasťou analýzy detailný rozbor vyrábaných produktov a ich príslušných tesnení, ktoré sú predmetom tohto automatizačného procesu. Posledná fáza analýzy sa venuje dostupným alternatívam riešenia tejto úlohy pre rozšírenie rozhľadu a zároveň je v tejto časti rozbor aktuálneho rozloženia pracoviska, ktoré je budúcou lokalitou jednoúčelového zariadenia.

Návrhová časť je rozdelená do vývoju jednotlivých úsekov zariadenia. Keďže sa jedná o manipuláciu s elastomérovým tesnením, ktorého správanie nie je možné efektívne simulovať, tak prvým krokom je vývoj a realizácia experimentálneho prototypu. Tento prototyp má významný podiel na návrhu manipulačnej jednotky zariadenia, nakoľko vďaka nemu prichádza k určenie spôsobu, akým je manipulované s tesnením a to na základe početného množstva príslušných testovaní. Zároveň sú takýmto spôsobom určené jednotlivé fázy manipulácie a k nim príslušné kritériá k potrebným vykonaným pohybom v rámci jednotky.

Samostatná manipulačná jednotka pozostáva z dvoch elektrických pohonov zabezpečujúcich pohyb drážkových prvkov, štyroch elektrických pohonov pre pohyb prítlačných prvkov a k tomu ešte jedným pohonom slúžiacim na polohovanie celej manipulačnej jednotky. Tým sa získava flexibilita, potrebná na manipuláciu tesnení štyroch rozmerov bez akejkoľvek mechanickej zmeny.

Ďalšou časťou vývoju je návrh zásobovacej jednotky. Tá je navrhnutá plne v súlade s kritériom efektivity a adaptability na rôzne rozmery tesnení. Je zložená zo šnekových dopravníkov umiestnených na nosnej doske a pomocou priloženého výberu prostriedkov je zabezpečená samostatná rotácia šnekov a celej jednotky. Celkovo je schopná zásobovať až 360 tesnení.

Súvislým prepojením oboch jednotiek je návrh a výber príslušných komponentov umožňujúcich transport tesnení z osi zásobovacej jednotky do osi manipulačnej jednotky.

Pre komplexné vybavenie zariadenia je súčasťou tejto práce v rámci návrhovej časti zahrnutý aj návrh elektrického rozvádzača s kompletným vybavením. Zároveň pre správnu funkčnosť zariadenia je venovaná samostatná podkapitola senzorickej výbave kde sú vybrané senzory pre inicializáciu systému pohonov, riadiacu funkciu polohovania manipulačnej jednotky a overovaciu funkciu pádu tesnenia.

Rámová konštrukcia je navrhnutá s ohľadom na rozmerové požiadavky jednotlivých úsekov zariadenia, a taktiež s ohľadom na modularitu celej konštrukcie, ktorá umožní montáž prípadných dodatočných prvkov.

Návrhom všetkých súčastí vzniká kompletný návrh zariadenia na automatické vkladanie tesnení. Takéto zariadenie je schopné samostatnej činnosti až do 14 hodín pri produkcii potrubia DN 200. Celé zariadenie je pritom veľmi kompaktné s rozmermi 750 mm (šírka) x 2250 mm (výška) x 1750 mm (dĺžka), čím je dosiahnutá kompatibilita umiestnenia zariadenia aj do stiesnených priestorov výrobných závodov. Zároveň je maximálne redukovaný čas potrebný na konfiguráciu pri zmene priemeru vyrábaných potrubí na čas potrebný na výmenu stabilizačného dielu (maximálne 2 minúty). Popritom stále existuje možnosť do budúcnosti vymeniť pneumatický pohon transportu tesnení za elektrickú variantu, čím sa získa plne automatické prenasťavenie zariadenia na iný priemer potrubia. Jednotlivé pohony zariadenia sú dimenzované na zdvihy potrebné pre manipulácie s rozmermi tesnení pre potrubia od 110 do 200 mm, avšak pridaním rezerv vzniká možnosť pracovať s tesneniami pre potrubia až do priemeru 250 mm, čím je získaná potrebná rezerva v prípade rozšírenia produkcie. Zároveň k tomu, je v prípade zmeny geometrie prítlačných a drážkových prvkov možné vkladanie tesnení aj externe, to znamená na korugované potrubia. Čo sa týka rozpočtovej stránky zariadenia, je možné ju objektívne zhodnotiť ako veľmi pozitívnu vzhľadom na získané parametre a ceny výrobcov zariadení pre tento účel.

Táto práca mi poskytla výrazne obohatenie poznatkov prostredníctvom literatúry a cenných rád od môjho školiteľa, nakoľko bolo potrebné sa dôkladne oboznámiť s problematikou riešenou v každej časti zariadenia. Práca má pokračovanie v podobe plánovanej realizácie tohto zariadenia a plnej integrácie na pracovisko. S tým súvisí pridanie rôznych bezpečnostných prvkov zariadenia pre bezpečnú prevádzku a implementácia programovej výbavy a prípadná optimalizácia zásobovacej jednotky pre možnosť vkladania celých balení tesnení. Zároveň bude toto zariadenie ďalej vyvíjané pre vznik ďalších možných funkcií ako napríklad kontrola kvality vyrábaných produktov

Zoznamy

Zoznam použitého softwaru

Autodesk Inventor 2022 Professional

Festo PartDataManager 2021

Festo Automation Suite

Yaskawa SigmaSelect

Microsoft Office 365

Zoznam obrázkov

Obrázok 3.1: Zostava extrúzneho linky [2].....	11
Obrázok 3.2: Príklad odťahového stroja [3].....	12
Obrázok 3.3: Hrdlovací automat [4].....	13
Obrázok 3.4: Rozmery jednotlivých produktov.....	14
Obrázok 3.5: Výkres hrdlovej časti.....	15
Obrázok 3.6: Prierez tesnenia typu BL [5].....	17
Obrázok 3.7: Dopravník tesnení [6].....	19
Obrázok 3.8: Úchyt tesnenia [6].....	19
Obrázok 3.9: Nasadenie na trn [6].....	19
Obrázok 3.10: Finálny produkt [6].....	19
Obrázok 3.11: Šnekový dopravník [7].....	20
Obrázok 3.12: Zariadenie [7].....	20
Obrázok 3.13: Vloženie tesnenia [7].....	20
Obrázok 3.14: Uvoľnenie [7].....	20
Obrázok 3.15: Nárys pracoviska.....	20
Obrázok 3.16: Paletizované balenie.....	21
Obrázok 4.1: Kombinácie úchopu predmetu jednotnej geometrie [8].....	22
Obrázok 4.2: Prototyp manipulačnej jednotky.....	23
Obrázok 4.3: 3D-tlačené súčiastky.....	23
Obrázok 4.4: Variácie manipulácie s tesnením.....	24
Obrázok 4.5: Prítlak tesnenia na zmenšenie priemeru.....	25

Obrázok 4.6: Maximálne vstupné priemery.....	26
Obrázok 4.7: Fázy manipulácie.....	26
Obrázok 4.8: Dráhy drážkových prvkov.....	27
Obrázok 4.9: Schéma pohybov prítlačných prvkov.....	29
Obrázok 4.10: Elektrický pohon ELGG [14].....	31
Obrázok 4.11: Príslušenstvo k pohonu ELGG.....	33
Obrázok 4.12: Usporiadanie elektrických pohonov ELGG.....	33
Obrázok 3.13: Elektrický valec EPCC [16].....	34
Obrázok 4.14: Príslušenstvo k pohonu EPCC.....	35
Obrázok 4.15: Usporiadanie elektrických pohonov EPCC.....	36
Obrázok 4.16: Optimálne rozostavenie súčiastok.....	37
Obrázok 4.17: Zostavenie a koncové polohy pohonu.....	38
Obrázok 4.18: Lineárne vedenie [17].....	39
Obrázok 4.19: Manipulačná jednotka.....	40
Obrázok 4.20: Princíp zásobovania tesnení.....	41
Obrázok 4.21: Rotačný aktuátor [20].....	42
Obrázok 4.22: Magnetické spojky [21].....	43
Obrázok 4.23: Zásobovacia jednotka.....	45
Obrázok 4.24: Stabilizačný diel transportu tesnení.....	46
Obrázok 4.25: Realizácia transportu tesnení.....	48
Obrázok 4.26: Približovací senzor [25].....	49
Obrázok 4.27: Sick OD mini [27].....	49
Obrázok 4.28: Umiestnenie senzoru OD mini.....	49
Obrázok 4.29: Sick W9 [29].....	50
Obrázok 4.30: Umiestnenie senzoru W9.....	50
Obrázok 4.31: Elektrický rozvádzač.....	51
Obrázok 4.32: Rozmiestnenie prvkov zariadenia.....	52
Obrázok 4.33: Rámová konštrukcia.....	53
Obrázok 4.34: Predná a bočná strana zariadenia.....	54
Obrázok 4.35: Zadná a bočná strana zariadenia.....	54
Obrázok 5.1: Zjednodušený model reálnej situácie.....	55

Zoznam tabuliek

Tabuľka 3.1: Hodnoty rozmerov jednotlivých produktov.....	14
Tabuľka 3.2: Kruhové tuhosti podľa STN EN 1401.....	14
Tabuľka 3.3: Rozmery hrdlovej časti.....	15
Tabuľka 3.4: Hmotnosti potrubí.....	16
Tabuľka 4.1: Rozmery jednotlivých pozícií.....	29
Tabuľka 4.2: Závislosť veličín na vzduchovej medzere [21].....	44

Zoznam literatúry

- [1] GILES, H. F., J. R. WAGNER a E. M. MOUNT. *Extrusion: the definitive processing guide and handbook*. Norwich: William Andrew Pub., c2005. PDL handbook series. ISBN 08-155-1473-5.
- [2] KRAUSSMAFFEL, PIPELINES. [online] [Citácia: 10.11.2021]. Dostupné z: <http://www.kraussmaffeiberstorff.com/en/pvc-pipelines.html>
- [3] SICA, HAUL-OFFS. [online] [Citácia: 20.11.2021]. Dostupné z: <https://www.sica-italy.com/products.aspx?idC=2>
- [4] SICA, BELLING MACHINES. [online] [Citácia: 18.12.2022]. Dostupné z: <https://www.sica-italy.com/products.aspx?idC=3>
- [5] MOL, SYSTEM BL. [online] [Citácia: 8.1.2022]. Dostupné z: <https://www.mol-elastomer.de/en/products/plastic/system-bl/>
- [6] SICA, UNIBEL BELLING MACHINES. [online] [Citácia: 13.1.2022]. Dostupné z: <https://www.sica-italy.com/products.aspx?idC=3>
- [7] IPM, BA 400. [online] [Citácia: 14.1.2022]. Dostupné z: <https://www.ipm-italy.it/products/automatic-socketing-machines-en/400-pp-en>
- [8] WOLF, A. a H. SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2018. ISBN 978-1-56990-714-6.
- [9] ZUKAS, V. a J. ZUKAS. *An introduction to 3D printing*. Sarasota, FL: Design Publishing, 2015. ISBN 978-1-62287-896-3.
- [10] GRIFFEY, J. Jason. *Types of Filaments for FDM Printing*. Library Technology Reports. 2017, 2017(15), 12-16.
- [11] WAGERMAIER, W. *Characterization methods for shape-memory polymers. Shape-memory polymers*. 2010, 2(226), 97.
- [12] KIEL, E. *Drive Solutions: Mechatronics for Production and Logistics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. ISBN 9783540767046.
- [13] FESTO, Pohony. [online] [Citácia: 3.3.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/c/vyrobyky/prumyslova-automatizace/pohony-id_pim5/

- [14] FESTO, ELGG. [online] [Citácia: 7.3.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/pohony-s-ozubenym-remenem-id_ELGG/?q=ELGG~:festoSortOrderScored
- [15] ONWUBOLU, G. C. *Mechatronics: principles and applications*. Oxford: Elsevier, 2005. ISBN 07-506-6379-0.
- [16] FESTO, EPCC. [online] [Citácia: 18.3.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/elektricke-valce-id_EPCC/?q=EPCC~:festoSortOrderScored
- [17] FESTO, ADNGF. [online] [Citácia: 25.3.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/kompaktni-valce-metricke-id_ADNGF/?q=:festoSortOrderScored
- [18] ROLLON, Compact Rail. [online] [Citácia: 30.3.2022]. Dostupné z: <https://www.rollon.com/cze/cs/family/linearni-vedeni/compact-rail/>
- [19] ROLLON, Compact Rail. [online katalóg výrobcu] [Citácia: 2.4.2022]. Dostupné z: <https://www.rollon.com/usa/en/download/>
- [20] SANGO AUTOMATION, Hollow Rotary Table. [online] [Citácia: 6.4.2022]. Dostupné z: <https://www.sango-automation.com/hollow-rotary-tables/hollow-rotary-table.html>
- [21] TEA TECHNIK, Dvoudílné magnetické spojky. [online] [Citácia: 16.4.2022]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/magneticke-spojky-1-1/>
- [22] DOLISY, Bastien; LUBIN, Thierry; MEZANI, Smail; LÉVÊQUE, Jean. *Three-Dimensional Analytical Model for an Axial-Field Magnetic Coupling*. *Progress In Electromagnetics Research*. Researchgate [online] M. 35. 173-182 [Citácia: 17.4.2022]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/275263303_Three-Dimensional_Analytical_Model_for_an_Axial-Field_Magnetic_Coupling/references
- [23] FESTO, DGST. [online] [Citácia: 18.4.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/sane-mini-id_DGST/?q=DGST~:festoSortOrderScored
- [24] FESTO, DZH. [online] [Citácia: 2.5.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/ploche-valce-metricke-id_DZH/?q=DZH~:festoSortOrderScored
- [25] FESTO, SDBT-MSX. [online] [Citácia: 19.5.2022]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/priblizovaci-cidla-id_SDBT_MSX/?q=SDBT-MSX~:festoSortOrderScored
- [26] DERTIEN, E. a P. P. L. REGTIEN. *Sensors for Mechatronics*. San Diego: Elsevier, 2018. ISBN 0128138106.
- [27] SICK, OD MINI. [online] [Citácia: 25.5.2022]. Dostupné z: <https://www.sick.com/sk/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/senzory-pro-mereni-vzdalenosti/od-mini/od1-b100h50i14/p/p325951>

- [28] GAN, Z. a Q. TANG. *Visual Sensing and its Applications: Integration of Laser Sensors to Industrial Robots*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ISBN 3642182860
- [29] SICK, W9. [online] [Citácia: 7.6.2022]. Dostupné z: <https://www.sick.com/sk/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w9/wtb9l-3p2461/p/p304766>

Prílohy

Výkresová dokumentácia:

S-U12135-BP0285-00	Zostavný výkres zariadenia
S-U12135-BP0285-00-03	Zostavný výkres manipulačnej jednotky
V-U12135-BP0285-00-03-03	Výrobný výkres vodiacej tyče
V-U12135-BP0285-00-03-04	Výrobný výkres úchytu pohonu
V-U12135-BP0285-00-03-05	Výrobný výkres dosky drážkových prvkov

Elektronická dokumentácia:

Manipulačná jednotka	.STL
Zásobovacia jednotka	.STL
Zariadenie	.STL