



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NÁVRH NOVÉHO POHONU VYBRANÉ ČÁSTI PLNÍCÍHO STROJE

DESIGN OF NEW DRIVE FILLING MACHINE PART

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Přemysl Borunský

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc. Jana Rozehnalová, M.Sc.

BRNO 2018



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: Přemysl Borunský  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení Vedoucí  
práce: Bc. Jana Rozehnalová, M.Sc.  
Akademický rok: 2017/18

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

## Návrh nového pohonu vybrané části plnicího stroje

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem BP je plnicí stroj pro plnění a zavírání tub. Z koncepčního provedení stroje je vybrán segment plnění, konkrétně se jedná o možnost úpravy pohonu pístu při plnění tuby. Při plnění se z nádrže nasaje produkt přes trojcestný ventil do sacího válce, odtud je produkt zpětným pohybem pístu ve válci vytlačen do plnicích trysek. Pohon tohoto pístu je nyní řešen pneumaticky, což je vzhledem k možným poklesům pracovního tlaku problematické pro řízení pneumotoru. Úprava bude spočívat v nahrazení pneumatického pohonu elektrickým servopohonem. Očekává se lepší řízení procesu, plnění a větší rychlost produktu, což se odrazí na zvýšení výkonu stroje (plnění je nejdelším procesem celého cyklu stroje).

### Cíle bakalářské práce:

Popis procesů výroby a průzkumu trhu.

Řešení současného stavu stroje na plnění tub, detailní vyhodnocení řešené oblasti inovace.

Návrh inovace s ohledem na reálnou možnost aplikace do již užívaného stroje (modely 3D, výkresy 2D, technické výpočty).

Vyhodnocení navržené inovace z hlediska technického (klady a zápory) a ekonomických přínosů (náklady).

Vyhodnocení inovační analýzy rizik.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

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

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá úpravou zařízení pro plnění tub. Práce se soustředí na analýzu současného stavu stroje, návrh inovace s ohledem na dané vstupní parametry, provedení konstrukčních výpočtů, vypracování výkresové dokumentace a porovnání stávajícího a navrhovaného řešení. Cílem práce je navržení náhrady pohonu plnicího mechanismu tak, aby bylo dosaženo zefektivnění procesu plnění tuby produktem, zkrácení potřebné doby pro tento proces a zachování či snížení výrobních nákladů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Plnicí zařízení, tuba, lineární posuvová soustava, konstrukce, plnění

## ABSTRACT

This thesis looks into improving of tubes filling mechanism. The thesis concentrates on the analysis of the current machines technology and the suggested innovation in view of given input parameters followed by construction calculations, project design and comparison of currently used versus proposed solution. The aim of the thesis is to propose a design of a replacement of filling mechanism drive to achieve more efficiency in regards with the process of the filling of the tube by a product, decrease the time period required for this process and preserve or lower the production costs.

## KEYWORDS

Filling machine, tube, linear displacement system, construction, filling

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BORUNSKÝ, P. *Návrh nového pohonu vybrané části plicního stroje*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Bc. Jana Rozehnalová M.Sc.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Bc. Jany Rozehnalové M.Sc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Přemysl Borunský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Bc. Janě Rozehnalové M.Sc. za připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

## OBSAH

Úvod .....	11
1 Vymezení cílů práce .....	12
2 Přehled vyráběných plnicích strojů .....	13
2.1 Lineární a rotační plnicí stroje .....	13
2.2 Zavírací zařízení a monobloky .....	15
3 Zařízení pro plnění a zavírání tub .....	16
3.1 Technické parametry .....	16
3.2 Používaná plniva a tuby .....	17
3.3 Technologický postup při plnění tub .....	18
4 Analýza systému plnění .....	20
4.1 Popis principu současného řešení .....	20
4.2 Hlavní části mechanismu .....	20
5 Specifikace návrhu nového pohonu .....	22
5.1 Zachované části stávající konstrukce .....	22
5.2 lineární posuvová soustava .....	22
5.3 Vložený převod .....	22
5.4 Ukotvení k rámu .....	22
5.5 Krokový motor .....	22
6 Návrhový výpočet .....	24
6.1 Statické hledisko .....	24
6.2 Kinematické hledisko .....	25
7 Výběr komponent .....	27
7.1 Krokový motor .....	27
7.2 Kuličkový šroub a kuličková matice .....	27
7.3 Ložiska .....	27
7.4 Převod ozubeným řemenem .....	28
7.5 Vyráběné komponenty .....	29
8 Technické a ekonomické porovnání .....	30
8.1 Technické porovnání .....	30
8.2 Ekonomické porovnání .....	31
9 Inovační analýza rizik .....	32
Závěr .....	33
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	36
Seznam příloh .....	37

## ÚVOD

Tato práce se zabývá modernizací již existujícího a koncepčně ustáleného stroje pro plnění a zavírání tub vyráběného českou společností IMACO Buchlovice. Těchto strojů se využívá zejména v potravinářském, kosmetickém či farmaceutickém průmyslu. Konkrétně se tato práce zabývá úpravou pohonu mechanismu, který zajišťuje plnění tuby.

V práci je popsáno a analyzováno současné řešení plnicího uzlu stroje. Z této analýzy vychází parametry, jež jsou podkladem pro následující konstrukční výpočet.

Podmínkou plynoucí ze zadání je použití servomotoru, v případě ekonomicky výhodnější varianty připadá v úvahu i použití krokového motoru. Cílem návrhu nové konstrukce je zefektivnit průběh dané technologické operace za současného snížení či zachování výrobních nákladů.

Výstupem práce jsou podklady potřebné pro vytvoření funkčního vzorku inovované části zařízení.

# 1 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem této práce je popsat a zanalyzovat proces plnění. Dále navrhnout inovaci tohoto uzlu, provést konstrukční výpočty, vypracovat potřebnou výkresovou dokumentaci a porovnat stávající variantu s novou z hlediska technického a ekonomického.

Požadované výsledné parametry konstrukce:

- použití servomotoru či krokového motoru;
- zkrácení doby potřebné pro plnění jedné tuby;
- zpřesnění nastavení požadovaného plnicího objemu;
- zpřesnění chodu;
- zachování nebo snížení výrobních nákladů.



## 2 PŘEHLED VYRÁBĚNÝCH PLNICÍCH STROJŮ

Plnicí stroj je zařízení, jehož úkolem je plnit určitý obal určitým plnivem v daném prostředí za daných podmínek. Na trhu se vyskytuje velké množství nejrůznějších typů strojů, ať už automatických, poloautomatických, či vyžadujících nepřetržitou obsluhu. Používají se takřka ve všech průmyslových odvětvích produkujících látky, které je pro distribuci a následné použití třeba řádně zabalit.[3][4][10]

Následující přehled uvádí pouze příklady nejběžněji se vyskytujících a poměrně zaběhlých koncepcí zařízení pro plnění lahví, kanystrů apod. Zařízením pro plnění tub je vyhrazena kapitola 3.

### 2.1 LINEÁRNÍ A ROTAČNÍ PLNICÍ STROJE

Tyto stroje jsou konstruovány pro automatické nebo poloautomatické plnění lahví, kanystrů a dalších obalů. Zařízení pracují s látkami, jako jsou oleje, sirupy, krémy a další potravinářské, kosmetické a chemické produkty.

U lineárních plniček je obal dopravován nejčastěji po páse do vymezené polohy pod plnicími tryskami. Počet trysek se různí podle typu stroje, požadavku výkonu apod.

Rotační plničky bývají vybaveny karuselem, který unáší obaly po svém obvodu, kde mohou být kromě plnění prováděny další technologické operace. Takováto zařízení již můžeme řadit do kategorie monobloků (viz následující podkapitola).

V závislosti na vlastnostech plniva a provozních požadavcích se používají objemová, zubová nebo oběhová čerpadla. Dávkování produktů bývá odměřováno objemovými čerpadly, průtokoměry nebo zabudovanými váhami. Pro sypké materiály se používají např. objemové nebo váhové dávkovače. Zásobníky plniv mohou být součástí konstrukce, nebo mohou být umístěny externě

Pohonem jednotlivých mechanismů bývají velmi často pneumatické válce a servopohony. Pro řízení těchto strojů se používají např. jednotky PLC.[3][4][10]

**Lineární plnicí zařízení IMACO Polaris PD:**

*Obr. 1 IMACO Polaris PD[5]*

Tento stroj je určen především pro plnění lahví a sklenic v potravinářském průmyslu. Vyskytuje se v různých modifikacích v závislosti na požadovaném výkonu a druhu produktu. Může být vybaven dvěma až šestnácti tryskami.[4]

Hlavní části zařízení:

- rám na antivibračních nohách;
- nerezový pásový dopravník;
- zásobník produktu;
- objemové čerpadlo;
- plnicí trysky včetně pohonu;
- řídicí jednotka a ovládací panel.

Parametry lineárního plnicího zařízení IMACO Polaris PD:

Výkon:	2 trysky:	1200 ks/hod
	16 trysek	8000 ks/hod
Elektrický přípoj:		380-440 V, 50/60 Hz
Příkon:		1-3 kW
Tlakový vzduch:		0,7 MPa

## 2.2 ZAVÍRACÍ ZAŘÍZENÍ A MONOBLOKY

Pro zavírání naplněných obalů jsou používána jak automatická tak poloautomatická zařízení. Opět se vyskytují koncepce lineární i rotační. Stroje mohou zavírat obaly s víčky narážecími nebo šroubovacími. Součástí těchto strojů často bývají také rotační, vibrační či jiné orientátory uzávěrů.

Stejně jako u plnicích zařízení jsou zde k přemísťování obalů používány pásy nebo karusely.

Kompaktní zařízení, která vykonávají jak plnění, tak zavírání, popřípadě další operace, řadíme do kategorie tzv. monobloků.[10][6][10]

### Lineární uzavírací zařízení Albertina-Machinery CAPLINE CN:



Obr. 2 Albetina-Machinery CAPLINE CN[11]

Zařízení je určeno k uzavírání kanystrů šroubovými a narážecími uzávěry. Součástí stroje je vibrační či rotační orientátor uzávěrů.[10]

Hlavní části zařízení:

- rám na antivibračních nohách;
- nerezový pásový dopravník;
- motorizace a měnič rychlosti;
- orientátor uzávěrů;
- uzavírací mechanismus;
- řídicí jednotka a ovládací panel.

Parametry lineárního uzavíracího zařízení Albertina-Machinery CAPLINE CN:

Elektrický přípoj: 440 V, 50/60 Hz

Příkon: 3 kW

Tlakový vzduch: 0,6 MPa

### 3 ZAŘÍZENÍ PRO PLNĚNÍ A ZAVÍRÁNÍ TUB

Tyto stroje se opět vyrábějí jak v poloautomatických tak automatických variantách. Používají se pro plnění tub látkami, jako jsou krémy, pasty a další potravinářské, kosmetické a chemické produkty.

Typickým představitelem automatického zařízení tohoto druhu je právě stroj českého výrobce **IMACO Buchlovice**, vyráběný pod názvem **Sigma**, jehož úpravou se tato práce zabývá.



*Obr. 3 IMACO Sigma[8]*

Stroj je vyráběn ve třech variantách; pod označením Sigma K pro kovové tuby, pod označením Sigma P pro plastové nebo laminované tuby a pod označením Sigma PK pro použití obou typů tub. Vyrábí se v různých provedeních v závislosti na vlastnostech plniva, tuby a pracovního prostředí.[7]

#### 3.1 TECHNICKÉ PARAMETRY

Hlavní části zařízení:

- rám na antivibračních nohách;
- zásobník tub s automatickým zakladačem a orientátorem;
- nádrž s plnivem;
- karusel a jeho pohon;
- mechanismy provádějící jednotlivé technologické operace;
- řídicí jednotka a ovládací panel.

Parametry zařízení pro plnění a zavírání tub IMACO Sigma:

Výkon:	do 2400 ks/hod
Elektrický přípoj:	380 V, 50/60 Hz
Příkon: kovové tuby:	0,5 kW
plastové tuby:	3,5 kW
Tlakový vzduch:	0,6 MPa
Plněná dávka:	3 – 250 ml
Přesnost dávkování:	±0,5%
Délka tuby:	30 – 250 mm
Průměr tuby:	9 - 50 mm

### 3.2 POUŽÍVANÁ PLNIVA A TUBY

Mezi nejčastěji používaná plniva patří látky jako lepidla, pasty, krémy apod. Při návrhu komponent plnicích zařízení je rozhodující hustota a viskozita plniva. Tyto údaje obvykle dodá zákazník včetně vzorku produktu. Objem tuby, kterou je zařízení Sigma schopno plnit, se pohybuje v rozmezí 10-300 ml.



Obr. 4 Příklad používaných tub[9]

### 3.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP PŘI PLNĚNÍ TUB

Na začátku celého procesu je prázdná tuba, která je již opatřena uzávěrem. Její konec je otevřený. Tuba je vložena do přípravku zajišťujícího její polohu, ten je připevněn ke karuselu. Do tohoto přípravku je tuba vložena uzávěrem dolů a otevřeným koncem, jímž je následně naplněna, nahoru. V případě zařízení Sigma je tuba do přípravku vkládána automaticky ze zásobníku.



*Obr. 5 Prázdné tuby[21]*

Prvním úkonem, který stroj provádí, je zatlačení prázdné tuby do přípravku tak, aby po celou dobu procesu zůstala bezpečně zajištěna.

Následujícím krokem je kontrola polohy tuby pomocí optického čidla. Na základě této kontroly je na témže stanovišti tuba otočena okolo své osy tak, aby byla natočena vhodně vzhledem k umístění své etikety. Pokud tuba není opatřena etiketou, je možno tento krok přeskočit.

Po dosažení požadované polohy je tuba přemístěna pod plnicí trysku. Zde je svým otevřeným koncem naplněna.

Naplňená tuba je následně uzavřena. Plastové tuby jsou svařovány, konce kovových tub jsou ohnuty. Součástí tohoto kroku bývá i opatření svařeného či ohnutého konce volitelným údajem, např. datem minimální trvanlivosti. Tento údaj je vyražen pomocí výměnných znaků na uzavíracích čelistech.

Posledním krokem je vyhození tuby z přípravku.

Na základě průzkumu trhu lze konstatovat, že tento systém je u karuselových tubovaček poměrně zaběhlý. Technologické postupy plnění tub se v praxi u jednotlivých výrobců a zařízení výrazně neliší.





*Obr. 6 Technologické operace[22]*



*Obr. 7 Technologické operace [21]*

## 4 ANALÝZA SYSTÉMU PLNĚNÍ

Informace potřebné k analýze systému plnění byly poskytnuty výrobcem. Konstrukce mechanismu a jednotlivých částí vychází z praxe.

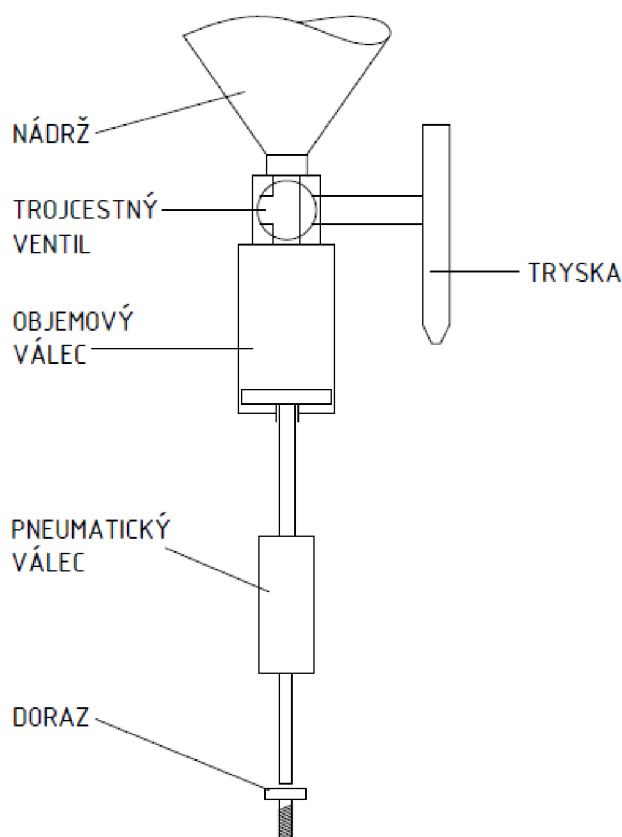
### 4.1 POPIS PRINCIPU SOUČASNÉHO ŘEŠENÍ

Produkt je aktivací pneumatického válce nasán skrz trojcestný ventil (poloha nádrž - válec) do objemového válce. Po otočení trojcestného ventilu (poloha válec - tryska) je produkt vytlačen zpětným pohybem pístu dále do trysky. Následuje otočení trojcestného ventilu do výchozí pozice a celý proces se opakuje. Doba plnění jedné tuby je 1s (pouze vytlačení produktu do trysky).

### 4.2 HLAVNÍ ČÁSTI MECHANISMU

Mechanismus zajišťující nasání produktu z nádrže a následné naplnění tuby se skládá z těchto komponent:

- nádrž;
- trojcestný ventil;
- objemový válec;
- pneumatický válec;
- mechanismus stavění objemu válce.



Obr. 8 Schéma současného řešení




#### 4.2.1 PNEUMATICKÝ VÁLEC

Systém plnění u zařízení Sigma používá pro různé typy plniv a různé velikosti tub téměř výhradně dvojčinný pneumatický válec s oboustrannou pístní tyčí **SMC CP96KDB63-100W**. Napájecí tlak tohoto válce je 0,6 MPa. Z katalogu výrobce PM lze odečíst následující hodnoty velikosti generovaných sil:

Tab. 1 Síla od pneumatického válce[12]

**Theoretical Output**



Bore size (mm)	Rod diameter (mm)	Operating direction	Piston area (mm <sup>2</sup> )	Operating pressure (MPa)									
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
32	12	OUT	804	161	241	322	402	482	563	643	724	804	
		IN	691	138	207	276	346	415	484	553	622	691	
40	16	OUT	1257	251	377	503	629	754	880	1006	1131	1257	
		IN	1056	211	317	422	528	634	739	845	950	1056	
50	20	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1570	1767	1963	
		IN	1649	330	495	660	825	989	1154	1319	1484	1649	
63	20	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2805	3117	
		IN	2803	561	841	1121	1402	1682	1962	2242	2523	2803	
80	25	OUT	5027	1005	1508	2011	2514	3016	3519	4022	4524	5027	
		IN	4536	907	1361	1814	2268	2722	3175	3629	4082	4536	
100	25	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7068	7854	
		IN	7363	1473	2209	2945	3682	4418	5154	5890	6627	7363	
125	32	OUT	12272	2454	3682	4909	6136	7363	8590	9817	11045	12272	
		IN	11468	2294	3440	4587	5734	6881	8027	9174	10321	11468	

Note) Theoretical out put (N) = Pressure (MPa) x Piston area (mm<sup>2</sup>)

Z tabulky 1 tedy můžeme odečíst tyto hodnoty sil:

$$F_{IN} = 1682 \text{ N}$$

$$F_{OUT} = 1870 \text{ N}$$

V následujících konstrukčních výpočtech bude uvažována síla větší, tedy  $F_{OUT}$ .

#### 4.2.2 STAVĚNÍ OBJEMU

Pro přesné nastavení požadovaného objemu objemového válce se u současné konstrukce používá mechanismus využívající oboustranné pístní tyče pneumatického válce. Pomocí mechanických převodů ozubenými koly se z prostoru obsluhy stroje nastaví poloha dorazu spodní pístní tyče, který je opatřen pohybovým šroubem. Pneumatický válec se tak při zpětném chodu nevrací do své vlastní koncové polohy, ale do polohy vymezené dorazem pod spodní pístní tyčí.

Výroba tohoto mechanismu je poměrně nákladná a jeho použití s sebou nese také riziko vzniku nepřesností.

## 5 SPECIFIKACE NÁVRHU NOVÉHO POHONU

### 5.1 ZACHOVANÉ ČÁSTI STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

Z mechanismu plnění budou odebrány následující komponenty a jejich příslušenství: pneumatický válec, mechanismus stavění objemu, pístní tyč objemového válce. V konstrukci tedy zůstává rám, objemový válec a jeho píst.

### 5.2 LINEÁRNÍ POSUVOVÁ SOUSTAVA

Pohyb pístu v objemovém válci je realizován prostřednictvím elektromechanické lineární posuvové soustavy využívající kuličkový šroub a matici. Tento typ lineární posuvové soustavy je volen z důvodu vysoké účinnosti a minimálního oteplování během provozu.[1]

#### 5.2.1 KULIČKOVÝ ŠROUB

Jako pístní tyč je použit kuličkový šroub vykonávající vertikální pohyb.

#### 5.2.2 KULIČKOVÁ MATICE

Rotačním členem posuvové soustavy je v tomto případě kuličková matice. Ta je připojena k náboji, který je současně nositelem řemenice převodu ozubeným řemenem.

### 5.3 VLOŽENÝ PŘEVOD

Vzhledem ke vzdálenosti osy krokového motoru a kuličkového šroubu vyplývající z konstrukce, je pro přenos momentu na náboj matice volen převod ozubeným řemenem. Tento typ převodu je volen z důvodu vysoké účinnosti.

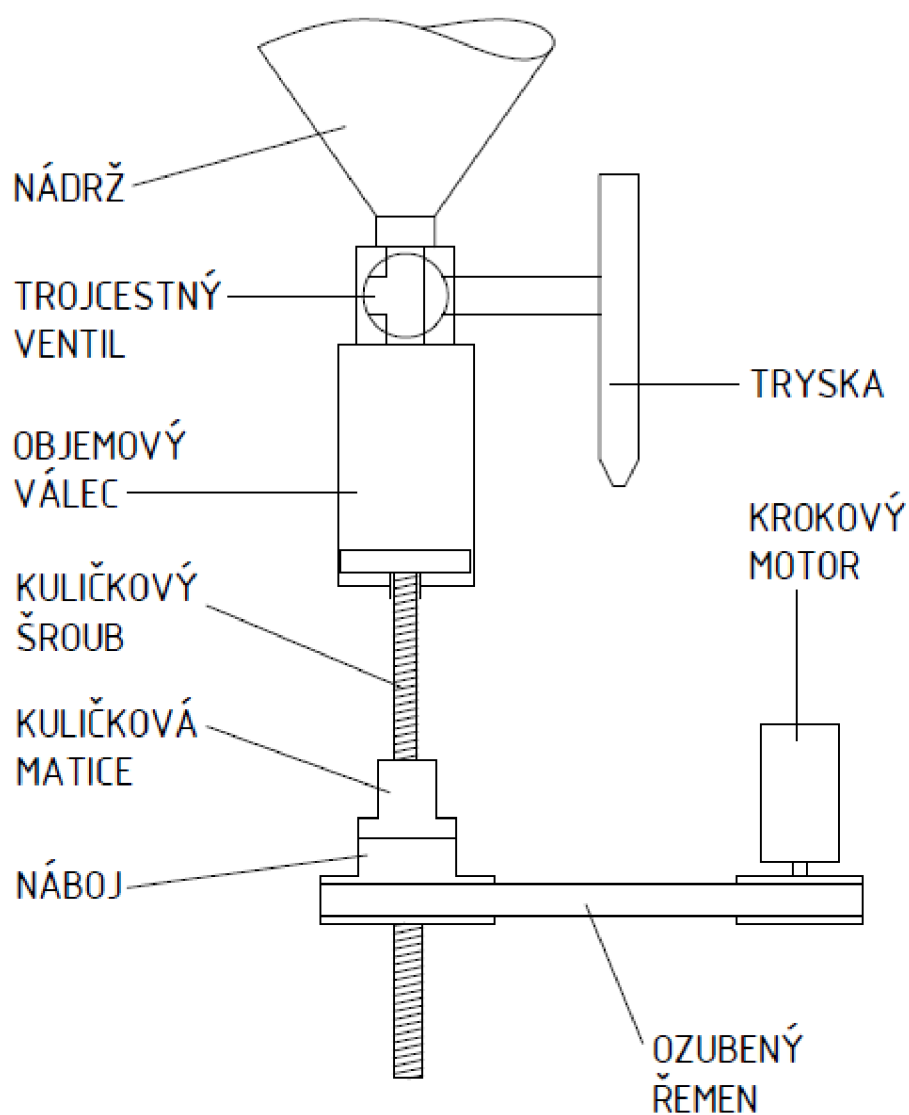
### 5.4 UKOTVENÍ K RÁMU

Ukotvení náboje k rámu je realizováno prostřednictvím kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem, která jsou nasazena na náboji a připevněna pomocí ložiskového domku k základně.

### 5.5 KROKOVÝ MOTOR

Pro pohon systému plnění je volen krokový motor. Specifikace viz kapitola 7.

.

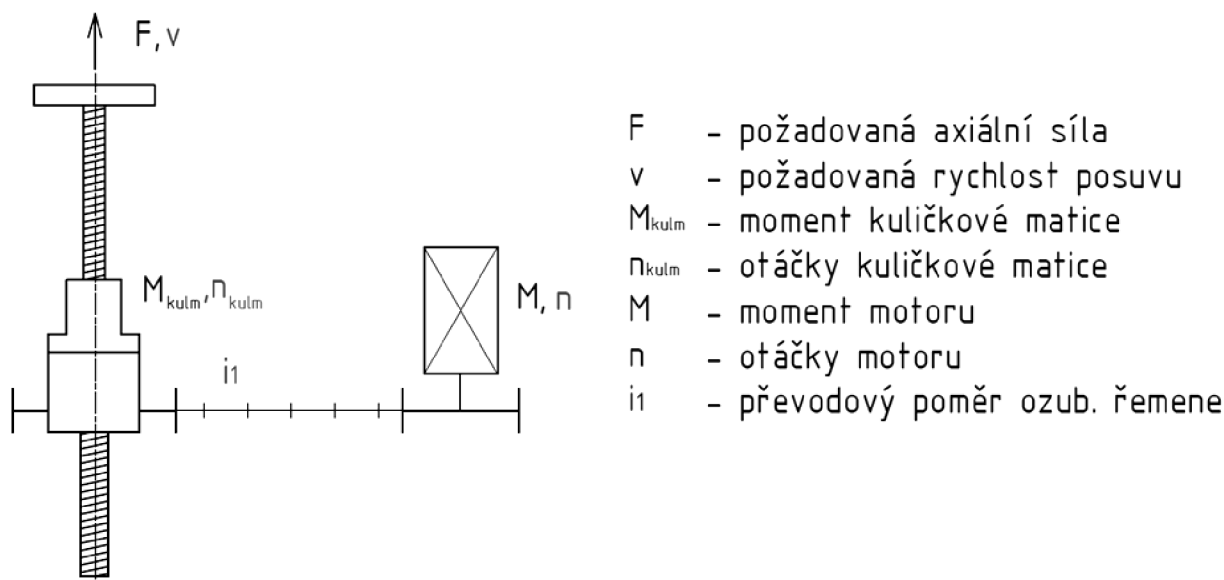


Obr. 9 Schéma návrhu

## 6 NÁVRHOVÝ VÝPOČET

Návrhový výpočet zahrnuje statické a kinematické hledisko. Pro výpočet je použit postup dle literatury [1]. Dynamické hledisko je zanedbáno.

Návrhový výpočet je dimenzován pro tubu o objemu 100 ml. Objemový válec určený pro plnění těchto tub má průměr  $d = 40$  mm.



- F - požadovaná axiální síla
- v - požadovaná rychlost posuvu
- $M_{kulm}$  - moment kuličkové matice
- $n_{kulm}$  - otáčky kuličkové matice
- M - moment motoru
- n - otáčky motoru
- $i_1$  - převodový poměr ozub. řemene

Obr. 10 Výpočtové schéma

### 6.1 STATICKÉ HLEDISKO

#### Moment kuličkové matice

$$F_{OUT} = 1870 \text{ N}$$

$$s = 0,005 \text{ m}$$

$$\eta_s = 0,92$$

$$M_{kulm} = \frac{F_{OUT} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_s} = \frac{1870 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,92} = 1,617 \text{ Nm} \quad [1, \text{s. 220}] \quad (6.1)$$

kde:

$M_{kulm}$  [Nm] moment kuličkové matice

$F_{OUT}$  [N] axiální síla na pístnici

s [m] stoupání kuličkového šroubu

$\eta_s$  [-] účinnost KŠM [1, s. 220]

**Moment na hřídeli motoru**

$$i = 0,4$$

$$\eta_r = 0,99$$

$$M_m = \frac{M_{kulm}}{i \cdot \eta_r} = \frac{1,617}{0,4 \cdot 0,99} = 4,083 \text{ Nm} \quad [1, \text{s. 220}] \quad (6.2)$$

kde:

$M_m$  [Nm] moment na hřídeli motoru

$i$  [-] převodový poměr

$\eta_r$  [-] účinnost převodu [1, s. 220]

**6.2 KINEMATICKÉ HLEDISKO****Zdvih pístu**

$$O = 0,0001 \text{ m}^3$$

$$d = 0,04 \text{ m}$$

$$L = \frac{O}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{0,0001}{\pi \cdot \frac{0,04^2}{4}} = 0,079 \text{ m} \approx 0,08 \text{ m} \quad (6.3)$$

kde:

$L$  [m] zdvih

$O$  [m<sup>3</sup>] plnicí objem

$d$  [m] průměr objemového válce

**Rychlost kuličkového šroubu**

Vzhledem k zanedbání dynamického hlediska je třeba získanou rychlost posuvu kuličkového šroubu vhodně naddimenzovat. Pohyb pístu ve válci je uvažován jako rovnoměrný přímočarý. Z tohoto důvodu je zaveden koeficient  $k$ .

$$t = 0,8 \text{ s}$$

$$k = 1,3$$

$$v_{kš} = \frac{L}{t} \cdot k = \frac{0,08}{0,8} \cdot 1,3 = 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6.4)$$

kde:

$t$  [s] doba plnění

$k$  [-] koeficient zpomalení

$v_{kš}$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] rychlost kuličkového šroubu

**Otáčky motoru**

$$n_{kulm} = \frac{v_{kš}}{s} = \frac{0,13}{0,005} = 26 \text{ s}^{-1} \quad (6.5)$$

$$n_m = n_{kulm} \cdot i = 26 \cdot 0,4 = 10,4 \text{ s}^{-1} \quad (6.6)$$

kde:

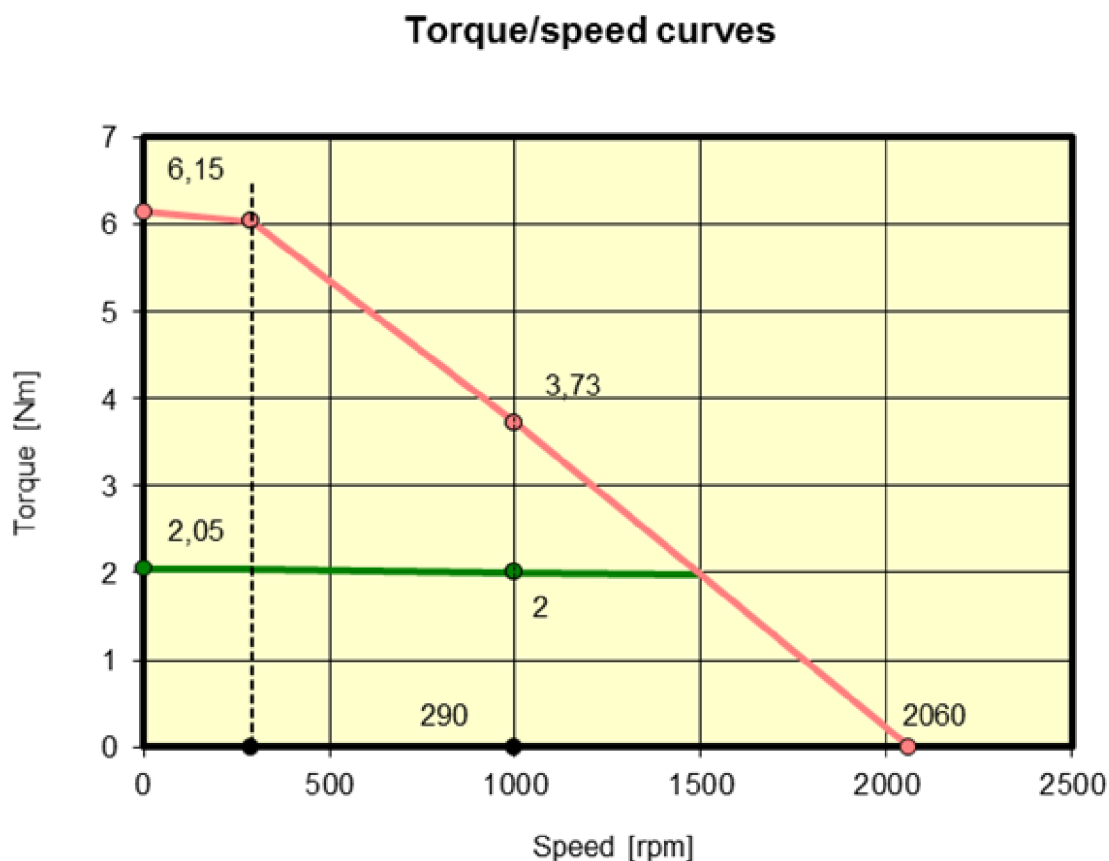
$n_{kulm}$  [ $\text{s}^{-1}$ ] otáčky kuličkové matice

$n_m$  [ $\text{s}^{-1}$ ] otáčky motoru

## 7 VÝBĚR KOMPONENT

### 7.1 KROKOVÝ MOTOR

Na základě výpočtu potřebného momentu a otáček je vybrán krokový motor TGN3-0205 značky TG Drivers.[13]



Obr. 11 Momentová charakteristika motoru [13]

### 7.2 KULIČKOVÝ ŠROUB A KULIČKOVÁ MATICE

Volen kuličkový šroub TBI průměru 20 mm, pravý závit, stoupání 5 mm.[14] Šroub je na konci opatřen závitem pro nasazení pístu, stejně jako původní pístní tyč.

Volena nepředepnutá kuličková matice TBI s přírubou odpovídajících parametrů.[15]

### 7.3 LOŽISKA

Volena dvojice kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem ZKL 7211AA [20] v uspořádání do „O“. Ložiska nejsou předepnuta, jelikož není požadována vysoká přesnost. Pouze je vymezena jejich vůle.

## 7.4 PŘEVOD OZUBENÝM ŘEMENEM

Návrh převodu ozubeným řemenem proveden dle literatury.[2]

### Řemen

Volen řemen typu L TYMA 236L050. [16]

Šířka řemenu  $b = 12,7 \text{ mm}$ .

Délka řemenu  $L_p = 599,44 \text{ mm}$

### Řemenice motoru

Volena řemenice TYMA 44L050/8WF TB1610.[17]

počet zubů  $z_1 = 44$

průměr roztečné kružnice  $d_{p1} = 133,4 \text{ mm}$

rozteč zubů  $p_b = 9,525 \text{ mm}$

### Řemenice náboje

Volena řemenice TYMA 18L050/6F.[18]

počet zubů  $z_2 = 18$

průměr roztečné kružnice  $d_{p2} = 54,57 \text{ mm}$

rozteč zubů  $p_b = 9,525 \text{ mm}$

Řemenici třeba upravit pro nasazení na náboj viz výkresová dokumentace.

### Vzdálenost os

$$a = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{8}} \quad [2, s. 167] \quad (7.1)$$

$$a = 146,97 \text{ mm}$$

Kde:

$$K = \frac{L_p}{4} - 0,393 \cdot (d_{p1} + d_{p2}) \quad [2, s. 167] \quad (7.2)$$



## Pouzdro Taper

Pro zajištění řemenice na výstupní hřídeli motoru je voleno pouzdro Taper TYMA TB 1610-14 [19] a pero ČSN 02 2562 5e7 x 5 x 22.



*Obr. 12 Pouzdro Taper [19]*

## 7.5 VYRÁBĚNÉ KOMPONENTY

### 7.5.1 NÁBOJ

Kuličková matice je připevněna k dutému náboji, jímž prochází kuličkový šroub. Náboj je opatřen tvarovými prvky pro uložení ložisek. Dále je opatřen drážkováním dle ISO 14 pro přenos momentu od řemenice. Konec náboje je opatřen závitem s pojistnou maticí pro axiální zajištění řemenice.

U náboje není vyžadována svařitelnost, korozivzdornost. Jako materiál je volena ocel E335.

### 7.5.2 ULOŽENÍ LOŽISEK

Ložiska jsou uložena v domku, který je připevněn k základně pomocí šroubů.

Jako materiál je volena ocel E335.

### 7.5.3 ZÁKLADNA

Nosným prvkem celého mechanismu je obdélníková základna tloušťky 6 mm. Je opatřena prvky pro přichycení ložiskového domku a příruby motoru.

Jako materiál je volena ocel E295.

## 8 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

### 8.1 TECHNICKÉ POROVNÁNÍ

#### 8.1.1 CHOD ZAŘÍZENÍ

Z hlediska přesnosti chodu dosahuje lepších výsledků navrhovaná varianta. Požadovaný plnicí objem lze nastavit elektronicky, nikoli mechanicky. U stávající varianty může docházet k objemovým nepřesnostem plnění. Výrobce udává  $\pm 0,5\%$ . [7]

Navrhovaná varianta dosahuje snížení času potřebného pro plnění o 0,2 s. Vzhledem k naddimenzování motoru, a také naddimenzování původního pohonu, je možné, že při reálné aplikaci by byla potřebná doba ještě zkrácena. V tomto případě již záleží na druhu použitého plniva a velikosti tuby.

#### 8.1.2 VÝROBA A MONTÁŽ

Současný systém je sestaven z velkého množství součástí. Je to způsobeno především nutností použití mechanismu pro stavění objemu. Jen pro sestavení tohoto mechanismu je třeba vyrobit přibližně třicet součástí. Další součásti je třeba vyrábět také pro samotný pneumatický válec a jeho příslušenství.

Navrhovaná varianta vyžaduje výrobu pouze pěti součástí. Tento počet by však ještě nepatrně vzrostl, pokud by skutečně došlo na reálnou aplikaci do již užívaného stroje. Tato práce však nemá k dispozici výkresovou dokumentaci původního zařízení, nelze tedy přesně stanovit, kolik dalších součástí by bylo třeba k přichycení mechanismu k rámu.

Lze říci, že montáž navrhovaného mechanismu bude časově méně náročná. To je opět způsobeno vyřazením mechanismu pro stavění objemu. Montáž navrhovaného pohonu však vyžaduje dodržení vysoké přesnosti.

## 8.2 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

### 8.2.1 CENA SOUČASNÉHO ŘEŠENÍ

Cenové ohodnocení výrobních nákladů pro současné řešení bylo poskytnuto výrobcem a je následující:

*Tab. 2 Cena současného řešení*

Mechanismus stavění objemu:	24 293 Kč
Příslušenství pneumatického válce	4 219 Kč
Pneumatický válec	3 522 Kč
<b>Celkem</b>	<b>32 034 Kč</b>

### 8.2.2 CENA NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Odhad ceny navrhovaného řešení vychází především z cen uváděných distributory nakupovaných součástí. Pro krokový motor a jeho ovladač je zvolena horní cenová hranice.

*Tab. 3 Cena navrhovaného řešení*

Kuličkový šroub 1m	2 150 Kč
Kuličková matice	1 990 Kč
Ložiska	526 Kč
Řemenice z44	440 Kč
Řemenice z18	118 Kč
Ozubený řemen	258 Kč
Pouzdro Taper	176 Kč
Krokový motor s driverem	17 000 Kč
Pojistné kroužky, pero, pojistná matice, spojovací materiál	150 Kč
Náboj	800 Kč
Ložiskový domek	500 Kč
Základna	1500 Kč
<b>Celkem</b>	<b>25 608 Kč</b>

## 9 INOVAČNÍ ANALÝZA RIZIK

Analýza rizik vyhodnocuje jednotlivá rizika v poměru k pravděpodobnosti jejich výskytu a významnosti vlivu s 5stupňovou úrovní.

Nastavení hodnocení úrovně rizika:

1 – téměř vyloučené / zanedbatelné; 2 – nepravděpodobné / málo významné; 3 – možné / významné; 4 – pravděpodobné / velmi významné; 5 – vysoce pravděpodobné / kritické

Vyhodnocení míry rizika:

Pravděpodobnost výskytu (pr) x; dopad (d) y; úroveň (u) x×y.

Popis situace	pr	d	u
Zranění při obsluze stroje v provozu	2	5	10 - závažné
Zranění při údržbě	3	5	15 - kritické
Poškození mechanismu	3	3	9 - závažné
Dysfunkce některé části či celku	3	2	6 - běžné

Popis a řešení:

Zranění při obsluze

Obsluha zařízení přijde do kontaktu s některou z činných částí mechanismu. Vzhledem k silám a rychlostem, se kterými mechanismy v tomto zařízení pracují, by mohlo dojít k vážnému zranění. Část stroje, v níž se vyskytuje řešený mechanismus je však dostatečně krytována. Proškolením obsluhy a dodržením bezpečnosti při práci je tak možno dosáhnout odstranění tohoto rizika.

Zranění při údržbě

U stroje je třeba dodržovat předepsané intervaly údržby. Při tomto úkonu přijde pracovník údržby do přímého kontaktu s pohyblivými částmi mechanismu, existuje zde tedy opět riziko zranění. Tomuto riziku lze předejít proškolením pracovníka a dodržením bezpečnosti při práci. Pro údržbu a montáž je však nezbytné stroj zastavit a odpojit od zdroje elektrické energie.

Poškození mechanismu

Při nesprávné montáži či přetížení může dojít k poškození mechanismu. Tomuto riziku lze předejít důslednou montáží a nevystavením zařízení nepředpokládanému zatížení.

Dysfunkce některé části či celku

Při aplikaci do již užívaného stroje existuje riziko nekompatibility. Toto riziko je způsobeno tím, že se jedná o funkční vzorek. Řešením rizika může být změna některých rozměrů či tolerancí některé části inovovaného uzlu.

## ZÁVĚR

Podstatou této bakalářské práce bylo provést analýzu části zařízení pro plnění tub. Následně na základě zjištěných a daných vstupních parametrů navrhnout konstrukční změnu dané části.

Nejprve tedy byla provedena analýza části stroje, která zajišťuje plnění. Z této analýzy vzešly parametry potřebné pro provedení konstrukčních výpočtů. Na základě těchto informací a podmínek zadání byla navržena nová koncepce mechanismu zajišťujícího pohon plnicího uzlu. Pro pohon byl navržen krokový motor, pro transformaci pohybu z otáčivého na lineární byl navržen kuličkový šroub s kuličkovou maticí. Součástí mechanismu je vložený převod ozubeným řemenem.

Další částí práce je provedení technického a ekonomického porovnání stávajícího a navrhovaného řešení. Po technické stránce navrhovaná varianta splňuje dané parametry. Je díky ní dosaženo zefektivnění chodu a zjednodušení celé konstrukce. Po ekonomické stránce se ve srovnání jeví jako výhodnější také varianta navrhovaná, jelikož je úspornější z hlediska výrobních nákladů a času potřebného pro montáž a výrobu.

Součástí práce jsou také 3D modely a výkresové dokumentace, jež jsou podkladem pro vytvoření funkčního vzorku.

Vzhledem k pracovním podmínkám, v nichž je tento stroj nasazen, je ale otázkou, zda díky použití krokového motoru nedojde ke snížení životnosti stroje. Podmínka jeho použití však vychází ze zadání.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Třetí vydání. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1
- [2] KRŮŽ, Rudolf. Strojnické tabulky II. - Pohony: Hřídele, ozubené převody, řetězové a řemenové převody. Ostrava: MONTANEX, 1997. ISBN 80-85780-51-8.
- [3] EFM Machinery - filling machines [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.efmbv.nl/en/products/filling-machines>
- [4] IMACO - plnicí stroje [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.imaco.cz/plneni-lahvi/>
- [5] IMACO - plnicí stroje [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/19\\_3\\_tn2.jpg](http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/19_3_tn2.jpg)
- [6] IMACO - monobloky [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.imaco.cz/plnici-a-zaviraci-monobloky/>
- [7] IMACO - plnění a zavírání tub [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.imaco.cz/sigma/>
- [8] IMACO - plnění a zavírání tub [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32\\_0\\_tn2.jpg](http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32_0_tn2.jpg)
- [9] IMACO - plnění a zavírání tub [online]. 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/31\\_0\\_tn2.jpg](http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/31_0_tn2.jpg)
- [10] Albertina Machinery : plnicí a zavírací stroje [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.albertina-machinery.com/plnici-a-uzaviraci-stroje>
- [11] Albertina Machinery - zavírací stroj [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: [http://www.albertina-machinery.com/images/capline\\_cn2.jpg](http://www.albertina-machinery.com/images/capline_cn2.jpg)
- [12] SMC - katalog [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.smc-pneumatics.com/pdfs/CP96.pdf>
- [13] TG Drivers [online]. 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/tgn3/ssss>
- [14] CNC shop - kuličkový šroub [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/scr-kulickovy-sroub>
- [15] CNC shop - kuličková matice [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/sfi-matice-jednoducha>
- [16] TYMA - řemeny [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/ozubene-remeny/zr-inch/1/2361050-12406/>

- [17] TYMA - řemenice [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/remenice/ozubene/inch-taper/zs-1-tb/44I050-8wf-1610-57388/>
- [18] TYMA - řemenice [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/remenice/ozubene/inch-standard/zs-1/18I050-6f-3671/>
- [19] TYMA - pouzdra [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/pouzdra/taper/tb-1610/tb-1610-14-taper-pouzdro-3291/>
- [20] ZKL [online]. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/cat/sracbb/7211aa>
- [21] Blick - empty tubes [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://cdn.dick-blick.com/items/034/61/03461-group-3ww-1.jpg>
- [22] IMACO - tubovačka [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32\\_1\\_tn2.jpg](http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32_1_tn2.jpg)
- [23] IMACO - tubovačka [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: [http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32\\_3\\_tn2.jpg](http://www.imaco.cz/foto.php?src=data/fotogalerie/32_3_tn2.jpg)

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a$	[mm]	Vzdálenost os řemenic
$b$	[mm]	Šířka řemene
$d$	[m]	Průměr objemového válce
$d_{p1}$	[mm]	Průměr roztečné kružnice řemenice motoru
$d_{p2}$	[mm]	Průměr roztečné kružnice řemenice náboje
$F_{IN}$	[N]	Síla při zpětném pohybu pneu. válce
$F_{OUT}$	[N]	Síla při pohybu pneu. válce
$i$	[-]	Převodový poměr
$k$	[-]	Součinitel zpomalení
$K$	[-]	Výpočtový součinitel
$L$	[m]	Zdvih
$L_p$	[mm]	Délka řemene
$M_{kulm}$	[Nm]	Moment kuličkové matice
$M_m$	[Nm]	Moment na hřídeli motoru
$n_{kulm}$	[s <sup>-1</sup> ]	Otáčky kuličkové matice
$n_m$	[s <sup>-1</sup> ]	Otáčky motoru
$O$	[m <sup>3</sup> ]	Plnicí objem
$p_b$	[mm]	Rozteč zubů
$s$	[m]	Stoupání
$t$	[s]	Čas
$v_{kš}$	[ms <sup>-1</sup> ]	Rychlost kuličkového šroubu
$z_1$	[-]	Počet zubů řemenice motoru
$z_2$	[-]	Počet zubů řemenice náboje
$\eta_r$	[-]	Účinnost ozubeného řemene
$\eta_s$	[-]	Účinnost kuličkového šroubu a matice



## SEZNAM PŘÍLOH

### Vizualizace:

Pohled zepředu, pohled zdola	P1
Pohledy boční	P2
Uložení náboje	P3

### Výkresová dokumentace:

Výkres sestavy	PP – 01
Náboj	PP – 01 – 01
Základna	PP – 01 – 02
Ložiskový domek	PP – 01 – 03
Matice	PP – 01 – 04
Podložka	PP – 01 – 05
Řemenice z 18	PP – 01 – 06
Kuličkový šroub	PP – 01 – 07

