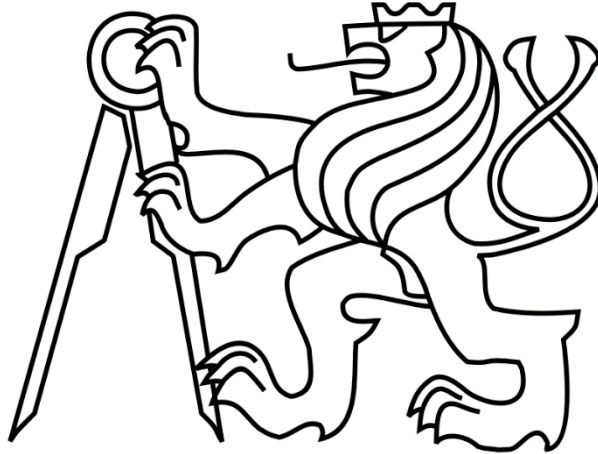


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Návrh a konstrukce montážního zařízení pro polstrování loketních opěr  
automobilu

2017

Michal Chytrý



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chytrý** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **437235**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh a konstrukce montážního zařízení pro polstrování loketních opěr automobilu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design and construction of an assembly device for upholstering armrest**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Navrhnete zařízení pro montáž polstrování loketních opěr. Zařízení musí obsahovat dvě nakládací pracoviště a jedno pracoviště lisovací. Předpokládaná doba jednoho cyklu je cca 25 vteřin.; Osnova práce:- Návrh variant řešení pro realizaci zařízení a vypracování konstrukčního modelu vybrané varianty; - Zpracování taktovacího časového diagramu jednotlivých úkonů během výrobního cyklu; - Návrh pneumatického obvodu a specifikace jednotlivých prvků na podkladě základních výpočtových úvah. Rozsah grafické části: Výkresová dokumentace v rozsahu 3D modelu, výkresu sestavy a kusovníku a dvou výrobních výkresů zadaných částí. Rozsah textové části: 40-60 stran.

Seznam doporučené literatury:

CERHA, Josef. Hydraulické a pneumatické mechanismy I. Vyd. 3., přeprac. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, 318 s. ISBN 978-80-7494-294-5; KOPÁČEK Jaroslav. PNEUMATICKÉ MECHANISMY, D1. Pneumatické prvky a systémy. Vyd. 2., přeprac. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 267s. ISBN 978-80-248-0879-6; Kolektiv autorů. SMC training, Stlačený vzduch a jeho využití. Vyd. 3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

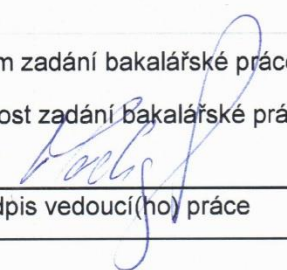
**Ing. Jan Machyl Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS**


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

Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2017**

  
Podpis vedoucí(ho) práce

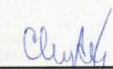
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
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.

26.4.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Prohlášení

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

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

V Praze dne 29. 5. 2017

.....

podpis

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Janu Machylovi, Ph.D. za vedení této bakalářské práce, jeho podnětné rady a připomínky při jejím vypracování.

Děkuji také všem zaměstnancům firmy JIMALU s.r.o. za množství hodnotných informací a připomínek, jež mi poskytli při tvorbě této bakalářské práce.

Chtěl bych také velmi poděkovat svým rodičům a rodině za nesmírnou podporu v průběhu celého studia.

## Anotace

Autor:	Michal Chytrý
Název BP:	Návrh a konstrukce montážního zařízení pro polstrování loketních opěr automobilu
Rozsah práce:	49 str., 41 obr., 5 tab., 6 graf.
Školní rok vyhotovení:	2017
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú 12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Jan Machyl, Ph.D.
Zadavatel:	JIMALU s. r. o.
Využití:	Polstrování loketních opěr
Klíčová slova:	Polstrování, loketní opěrka, montážní zařízení, pneumatické prvky
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí montážního zařízení pro polstrování loketních opěr. V práci je uveden současný stav polstrování, řešerše pneumatických prvků, konstrukční možnosti, konstrukce vybrané varianty, specifikace pneumatických prvků a diagramy pro řízení.

## Annotation

Author:	Michal Chytrý
Title of bachelor dissertation:	Design and construction of an assembly device for upholstering armrest
Extent:	49 p., 41 fig., 5 tab., 6 grap.
Academic year:	2017
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú 12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Jan Machyl, Ph.D.
Submitter of the Theme:	JIMALU s. r. o.
Application:	Upholstering armrest
Key words:	Upholstering, armrest, assembly device, pneumatic elements
Annotation:	This bachelor thesis deals with design and construction of an assembly device for upholstering armrest. The thesis consists of status, description of pneumatic elements, a proposal of construction possibilities, design of a selected option, specification of pneumatic elements and diagrams for control.

## Obsah

1.	Úvod .....	11
2.	Současný stav .....	12
2.1	Celkový výrobní proces.....	12
2.2	Polstrování.....	13
3.	Pneumatické mechanismy .....	14
3.1	Pneumatické lineární pohony.....	14
3.2	Ventily.....	15
3.2.1	Zpětný ventil.....	16
3.2.2	Škrťící ventil se zpětným ventilem .....	16
3.2.3	Redukční ventil .....	17
3.3	Rozváděče.....	17
4.	Možná koncepční řešení zařízení .....	18
4.1	Nároky na přesnost a funkčnost.....	18
4.2	Polstrování v horizontální poloze se stlačením pěny (var. 1).....	18
4.3	Polstrování ve vertikální poloze s plechovým košem (var. 2) .....	19
4.4	Polstrování ve vertikální poloze s ocelovými tyčemi (var. 3) .....	19
5.	Prototyp a vývoj zvoleného řešení.....	20
6.	Návrh konstrukce zařízení.....	22
6.1	První varianta.....	22
6.2	Druhá varianta .....	23
7.	Konstrukce zařízení .....	24
7.1	Ocelové tyče .....	24
7.2	Zakládací přípravek.....	25
7.3	Lisovací zařízení .....	26
7.4	Celková sestava .....	27
8.	Návrh pneumatického obvodu .....	29
8.1	Taktovací diagram .....	29
8.2	Kontrolní výpočty pneumatických válců .....	30
8.2.1	Pneumatický válec č. 1 .....	31
8.2.2	Pneumatický válec č. 2 .....	32
8.2.3	Pneumatický válec č. 3 .....	34
8.3	Specifikace prvků.....	35





8.3.1	První větev.....	35
8.3.2	Druhá větev.....	39
8.4	Schéma pneumatického obvodu.....	40
9.	Řízení zařízení.....	42
9.1	Vývojový diagram.....	42
9.2	Stavový diagram.....	44
10.	Závěr.....	45
11.	Seznamy.....	47
11.1	Seznam použité literatury.....	47
11.2	Seznam obrázků.....	48
11.3	Seznam tabulek.....	49
11.4	Seznam grafů.....	49
11.5	Seznam použitého softwaru.....	49
11.6	Seznam příloh.....	49

## Přehled použitých veličin a jednotek

$a_1, a_2$	[m/s <sup>2</sup> ]	zrychlení pístu
$C_f$	[-]	opravný koeficient
$d_1, d_2$	[mm]	průměr pístnice
$d_{h1}, d_{h2}$	[mm]	vnitřní průměr hadice
$D_1, D_2, D_3$	[mm]	průměr pístu
$F_1, F_2$	[N]	síla pneumatického válce
$F_{s1}, F_{s2}$	[N]	setrvačná síla
$H_1, H_2, H_3$	[mm]	zdvih pístu
$L_{h1}, L_{h2}$	[mm], [m]	maximální přípustná délka hadice
$m_1, m_2$	[kg]	hmotnost přesouvaného břemene
$p, p_1, p_2, p_3$	[MPa], [bar]	tlak vyvozený válcem
$Q_1, Q_2, Q_3$	[l/min]	průměrná spotřeba vzduchu
$S_{z1}, S_{z2}$	[mm]	dráha zrychlování
$S_{21}, S_{22}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha pístu zmenšená o průměr pístnice
$t_1, t_2, t_3$	[s]	doba přestavení
$t_{z1}, t_{z2}$	[s]	doba zrychlování
$T_1, T_2$	[N]	třecí síla
$v_1, v_2, v_3$	[mm/s], [m/s]	rychlost pístu
$V, V_{12}, V_{13}$	[mm <sup>3</sup> ]	objem pneumatického válce
$V'_{12}, V'_{13}$	[mm <sup>3</sup> ]	přepočítaný objem pneumatického válce
$V_2$	[mm <sup>3</sup> ]	objem hadice
$V'_{22}, V'_{23}$	[mm <sup>3</sup> ]	přepočítaný objem hadice
$\Sigma S'_2$	[mm <sup>2</sup> ]	vypočítaný poměrný průřez
$\Sigma S, \Sigma S_2, \Sigma S_3$	[mm <sup>2</sup> ]	tabulkový poměrný průřez
$\Delta p, \Delta p_2, \Delta p_3$	[MPa]	tlakový spád
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\mu$	[-]	součinitel tření ve valivém vedení

## 1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá problematikou návrhu a konstrukce zařízení určeného k polstrování potahu na základní pěnovou část automobilové loketní opěrky, která má v sobě zabudovanou konstrukci. Zařazení takového stroje do výroby výrazně sníží časovou náročnost výroby, zmenší nutnost fyzické práce operátorů a tím ušetří finanční prostředky. Doba jednoho cyklu má být 25 s.

Základními komponenty pro výrobu loketní opěrky jsou: pěnová část obsahující nosnou konstrukci s čepy, potah a menší plastové díly, např. držák nápojů (cupholder). Zařízení má být určeno pro polstrování 3 typů opěr, které se liší svou délkou a v určitém místě také šířkou, nikoliv však šířkou v oblasti čepů, která je pro návrh rozhodující. Každému typu odpovídá také potah na Obr. 1. Ukázky 2 variant pěnových částí (pěn) jsou na Obr. 2.



Úvodní část práce je věnována popisu současného výrobního procesu pro přiblížení řešené problematiky, rešerši pneumatických prvků a možným koncepčním řešením zařízení.

Další část je věnována konstrukčním variantám a konstrukčnímu návrhu zařízení.

V závěru práce je kontrola pneumatických válců navržených v konstrukci, specifikace potřebných pneumatických prvků, návrh pneumatického obvodu a diagramy pro řízení.

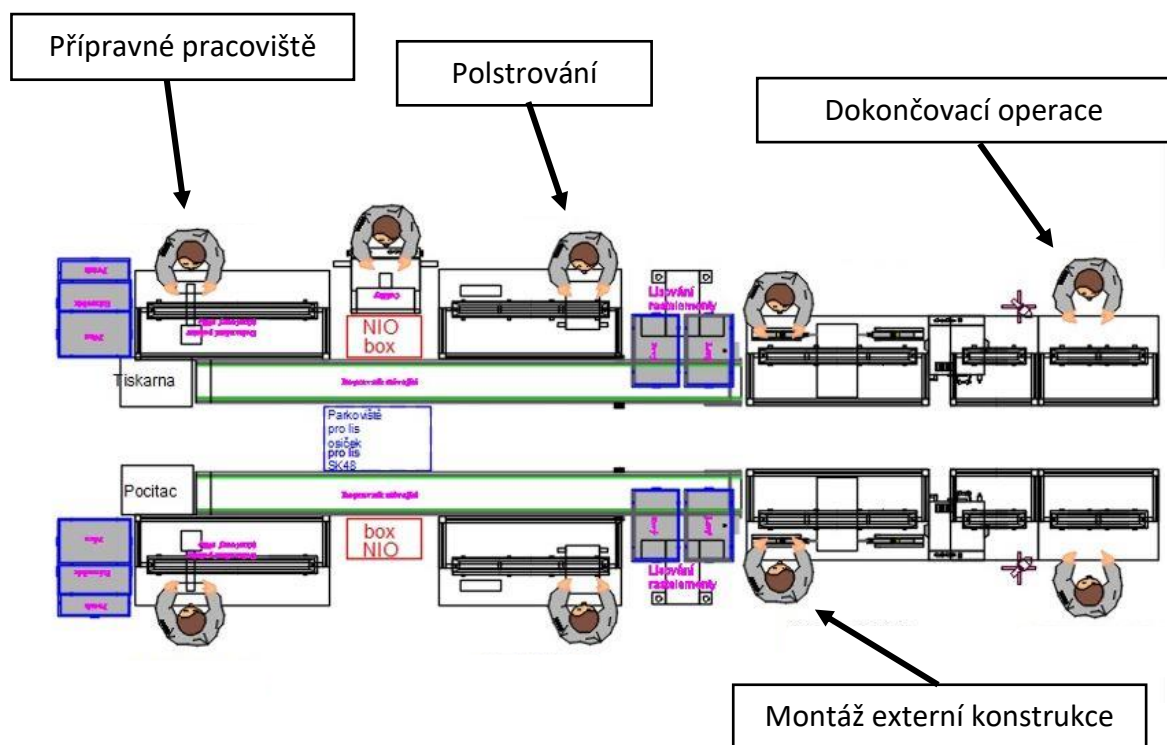
Práce vznikla ve spolupráci s firmou JIMALU s. r. o., zařízení je určeno pro firmu Magna Automotive (CZ) s. r. o.

## 2. Současný stav

Celkový výrobní proces a jeho části jsou popsány se souhlasem firmy Magna Automotive (CZ) s. r. o.

### 2.1 Celkový výrobní proces

Vzhledem k velkému počtu vyráběných kusů je celá výroba loketních opěr rozložena do dvou paralelních linek nezávislých na sobě. V první fázi dochází k přípravě materiálu a k nacvaknutí držáku nápoje (cupholderu) na pěnu. Poté je na pěnu manuálně polstrován potah. Pěna s napolstrovaným potahem je následně přišroubována dvěma šrouby k externí konstrukci sloužící k zasazení do automobilu. V konečné fázi dochází k funkční a vizuální kontrole celé loketní opěry, přičemž různé vzhledové nedostatky (faldy, špatně otočené švy) mohou být upraveny jehlou, či napařením horkým vzduchem a zahlazením. Schéma výrobního procesu je na Obr. 3.



Obr. 3 – Celkový výrobní proces

## 2.2 Polstrování

Polstrování loketních opěr probíhá v obou paralelních linkách stejným způsobem. Operátoři polstrují potah manuálně, což je hlavně časově velmi nevýhodné, s tím je spojena horní hranice vyrobených kusů za určitý čas. Další velmi výraznou nevýhodou je fakt, že k polstrování je nutná značná fyzická námaha, ta způsobuje únavu, možné zdravotní problémy v oblastech zápěstí, předloktí a možný vznik syndromu karpálního tunelu. Ruční polstrování je uvedeno na Obr. 4.

Syndrom karpálního tunelu je tzv. útlakovým syndromem, který způsobuje poškození nebo poškození středního nervu v karpálním tunelu. Takové poškození vzniká nejčastěji úrazem nebo právě přetížením zápěstí v důsledku namáhavé práce a při špatné ergonomii práce. [1]



Obr. 4 - Současné ruční polstrování

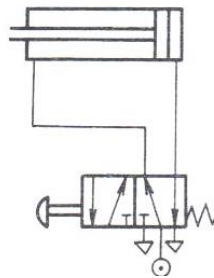
### 3. Pneumatické mechanismy

Pneumatické mechanismy jsou tekutinové mechanismy, jejichž nositelem energie je plyn, konkrétně vzduch. Každý pneumatický mechanismus obsahuje určité prvky. [2]

#### Prvky pneumatických mechanismů:

- Motory – lineární, kyvné, rotační
- Řídící prvky – ventily, rozváděče
- Pomocné – těsnění, trubky, hadice [2]

Složení jednotlivých pneumatických prvků vznikne pneumatický obvod sestrojený k dosažení potřebných parametrů, např. pohybů, rychlostí, přenosu sil, apod. Pneumatický obvod se znázorňuje schématem, kdy se využívá normalizovaných symbolů a značek dle ČSN 01 3722-85 Hydrostatické a pneumatické mechanismy. Příklad jednoduchého obvodu pro řízení dvojčinného motoru pěticestným dvoupolohovým rozváděčem s tlačítkovým ovládáním je na Obr. 5. [3]



Obr. 5 – Pneumatický obvod s dvojčinným motorem [3]

#### 3.1 Pneumatické lineární pohony

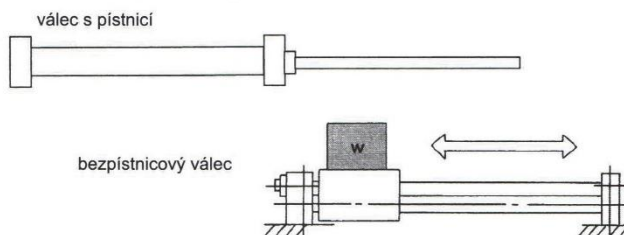
Přímočaré pneumatické pohony jsou dnes jedním z nejpoužívanějších pneumatických prvků. Svým principem a způsobem činnosti se podobají hydraulickým pohonům. Existují různé typy motorů. [3]

##### Dělení dle principu činnosti:

- Jednočinné – přivedený vzduch způsobuje pohyb motoru pouze v jednom směru, pohyb v opačném směru způsobí stlačená pružina
- Dvojčinné – vzduch způsobí pohyb motoru v obou směrech [2]

##### Dělení dle konstrukce:

- Pístnicové – pístní tyč vyjíždí a zjíždí z/do válce, posuvný pohyb se přenáší pístnicí, délka takových válců se mění v závislosti na vysunutí pístní tyče
- Bezpístnicové – pohyb pístu ve válci není zajišťován pístní tyčí, ale kovovým páskem, který je spojený přírubou nebo působením magnetického pole permanentních magnetů, umístěných v pístu [3]



Obr. 6 – Pístnicový a bezpístnicový válec [4]

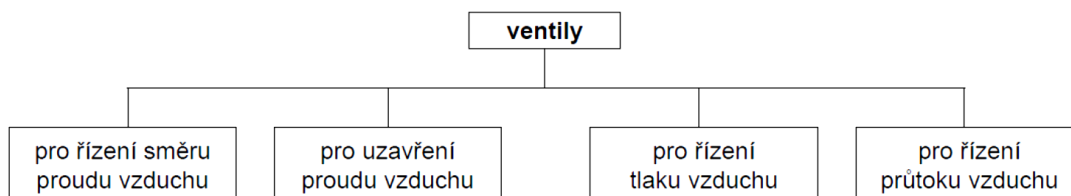
Pneumatické válce mohou být i speciálního provedení, která jsou jejich aplikací vyžadována, např. válce s průchozí pístnicí, tandemové válce (dva písty, dvakrát silnější), válce s dvojnásobnou plochou pístu nebo vícepolohové válce. [4]

## 3.2 Ventily

Ventily jsou srdcem všech pneumatických obvodů. Umožňují ovládání směru proudění stlačeného vzduchu, řízení pneumatických pohonů nebo sestavování logických řídicích obvodů. Některé také ovládají a řídí tlak nebo průtok vzduchu. Ke splnění těchto požadavků existují ventily různých druhů. Ventily se dělí dle jejich funkce a dle konstrukčního provedení. Ovládání ventilů může být: manuálně, mechanicky, pneumaticky a elektromagneticky. [3],[4]

### Rozdělení ventilů dle funkce:

Ventily jsou podle normy ISO 1219 rozděleny dle funkce do základních skupin na schématu.



Obr. 7 – Rozdělení ventilů podle funkce [4]

**Ventily pro řízení směru proudu vzduchu** – otvírají, zavírají nebo propojují přívodní a výstupní kanály v tělese ventilu

**Ventily pro uzavření proudu vzduchu** – uzavírají průtok proudu vzduchu v jednom směru. Zařazují se mezi ně zpětné ventily a logické ventily

**Ventily pro řízení tlaku proudu vzduchu** – regulátory tlaku, přetlakové a pojistné ventily

**Ventily pro řízení průtoku vzduchu** – škrtící ventily, které mění plochu průřezu, kterým protéká vzduch. Používají se především k regulaci rychlosti pneumatických pohonů [4]

### Rozdělení ventilů dle konstrukce:

- Sedlové ventily – průřez otvoru, kterým protéká vzduch se uzavírá deskou nebo dříkem, sedlo může být ploché nebo kuželové
- Šoupátkové ventily – k otevření, zavření či propojení kanálů se posouvají nejčastěji válcová šoupátka v tělese ventilu v podélné ose [3],[4]

#### 3.2.1 Zpětný ventil

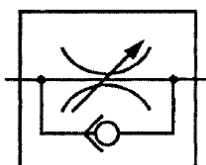
Zpětný ventil umožňuje průtok vzduchu pouze jedním směrem, v opačném směru je sedlo uzavřeno. Při průchodu média jedním směrem proud vzduchu otevře zpětný ventil a vzduch proudí, v opačném směru je uzavřen sedlem (kuželkou, kuličkou), které je přitlačováno pružinou. [3],[4]



Obr. 8 – Symbol zpětného ventilu [4]

#### 3.2.2 Škrťací ventil se zpětným ventilem

Škrťací ventil řídí rychlost nebo otáčky pneumatického pohonu, nejčastěji se používají pro řízení rychlosti pneumatických přímočarých motorů. Nejčastějším provedením je škrťací ventil se zpětným ventilem, kdy dochází k regulaci pouze v jednom směru. Zpětný ventil je uzavřen a vzduch prochází škrťacím ventilem, při průchodu média v opačném směru se tlakem nejprve otevře zpětný ventil a vzduch proudí skrze něj. [3],[4]

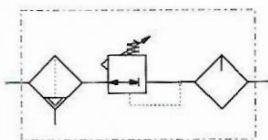


Obr. 9 – Symbol škrťacího ventilu se zpětným ventilem [4]



### 3.2.3 Redukční ventil

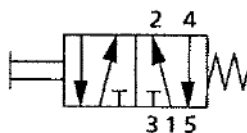
Redukční ventily svou funkcí udržují konstantně nastavený výstupní tlak nezávisle na změnách tlaku vstupního, za předpokladu, že vstupní tlak je větší než výstupní. Tímto je zajištěna tlaková stabilita pneumatického obvodu. Redukční ventily se v praxi kombinují s filtrem s odlučovačem a maznicí, čímž vytváří tzv. modulární jednotku úpravy vzduchu. [3],[4]



Obr. 10 – Modulární jednotka s redukčním ventilem [4]

### 3.3 Rozváděče

Rozváděče, dle normy ISO 1219 ventily pro řízení směru proudu vzduchu, patří mezi nejpoužívanější a nejdůležitější řídicí prvky pneumatického obvodu. Hlavními parametry rozváděčů jsou: počet vstupních a výstupních kanálů, počet poloh (funkčních stavů) a způsobem ovládní. Ovládní mohou být např. mechanicky, pneumaticky nebo elektromagnetem. Na Obr. 11 je uveden příklad pěticestného dvoupolohového rozváděče s tlačítkovým ovládním, návrat do výchozí polohy je zaručen pomocí vratné pružiny. Zkrácené označení tohoto prvku je 5/2 ventil. [3],[4]



Obr. 11 – Pěticestný, dvoupolohový rozváděč [4]

## 4. Možná koncepční řešení zařízení

### 4.1 Nároky na přesnost a funkčnost

Kladené nároky na zařízení:

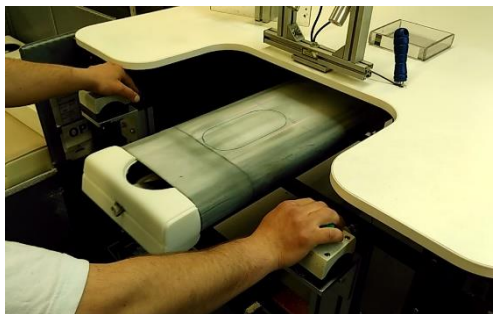
- Správná pozice čepu v potahu (viz Obr. 12)
- Správné umístění švů
- Eliminace tření při polstrování



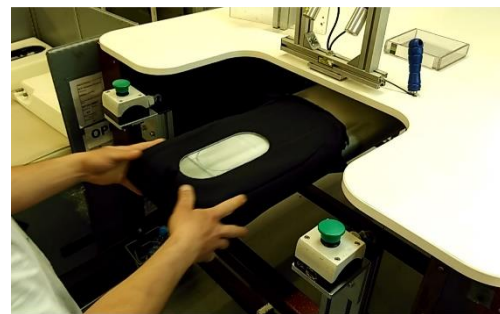
Obr. 12 – Pozice čepu vůči jeho otvoru

### 4.2 Polstrování v horizontální poloze se stlačením pěny (var. 1)

Prvním z možných řešení je zařízení, které vykonává polstrování v horizontální poloze. Principem je založení pěny do zařízení, poté její následné stlačení (viz Obr. 13). Po stlačení pěny dochází již k jednoduššímu nasazení potahu (viz Obr. 14). Zařízení podobného typu se v průmyslu již používají. Tento způsob řešení nelze aplikovat kvůli čepům na krajích pěnového dílu.



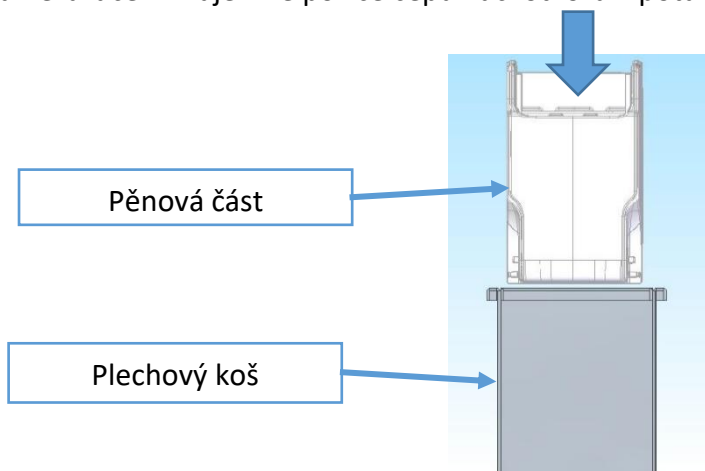
Obr. 13 – Stlačení pěny



Obr. 14 – Nasazení potahu

### 4.3 Polstrování ve vertikální poloze s plechovým košem (var. 2)

Dalším možným řešením je nasazení potahu převráceného naruby na plechový koš, jehož tvar přímo odpovídá tvaru základního pěnového dílu. Pěnová část by poté sjížděla z horní pozice směrem ke koši a tím by se potah napolstroval. Možné řešení plechového koše je na Obr. 15. Řešení není vhodné, kvůli nutnosti nejdříve potah náročně nasadit a nezaručení vzájemné pozice čepu vůči otvoru v potahu.



Obr. 15 - Řešení s plechovým košem

### 4.4 Polstrování ve vertikální poloze s ocelovými tyčemi (var. 3)

Na velmi podobném principu je založena další možnost řešení, kdy je potah převrácený naruby nasazen na kovové tyče a základní pěnová část poté sjíždí z horní pozice směrem k tyčím a tím dochází k navlékání potahu. Při tomto způsobu řešení nedochází k velkému tření mezi potahem a zařízením, je zaručena pozice čepu vůči otvoru v potahu a je jednodušší nasazení potahu. Uvedené koncepční řešení je dále rozpracováno. Varianta č. 3 je na Obr. 16 a Obr. 17.



Obr. 16 – Řešení s ocelovými tyčemi

Pěnová část

Potah



Obr. 17 – Ukázka prototypu

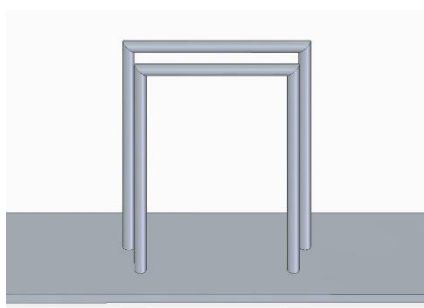
## 5. Prototyp a vývoj zvoleného řešení

V počáteční fázi byla uskutečněna myšlenka dvou tyčí, kdy každá z nich tvořila svým tvarem obdélník. Potah se při zkouškách v této fázi velmi silně poškozoval, docházelo k lokálnímu roztržení. Důvodem bylo velmi vysoké tření při styku potahu s tyčemi (viz Obr. 18).

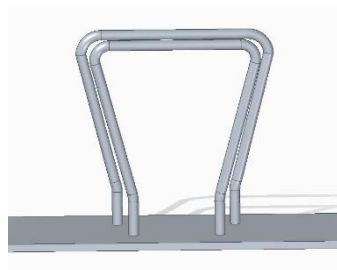
Ve druhé fázi byl upraven profil tyčí, kdy došlo k jejich zahnutí. Tímto byl eliminován kontakt potahu s tyčemi na boku a výrazně sníženo tření. Nebylo však dosaženo ideálních výsledků (viz Obr. 19).

Během třetí fáze vývoje bylo opětovně sníženo tření. Rozdělením bylo dosaženo téměř ideálních výsledků (viz Obr. 20).

Čtvrtá fáze byla posledním krokem ve vývoji prototypu. Použitím valivých ložisek na zadních tyčích došlo téměř k eliminaci tření mezi potahem a tyčemi (viz Obr. 21).



Obr. 18 – První fáze



Obr. 19 - Druhá fáze

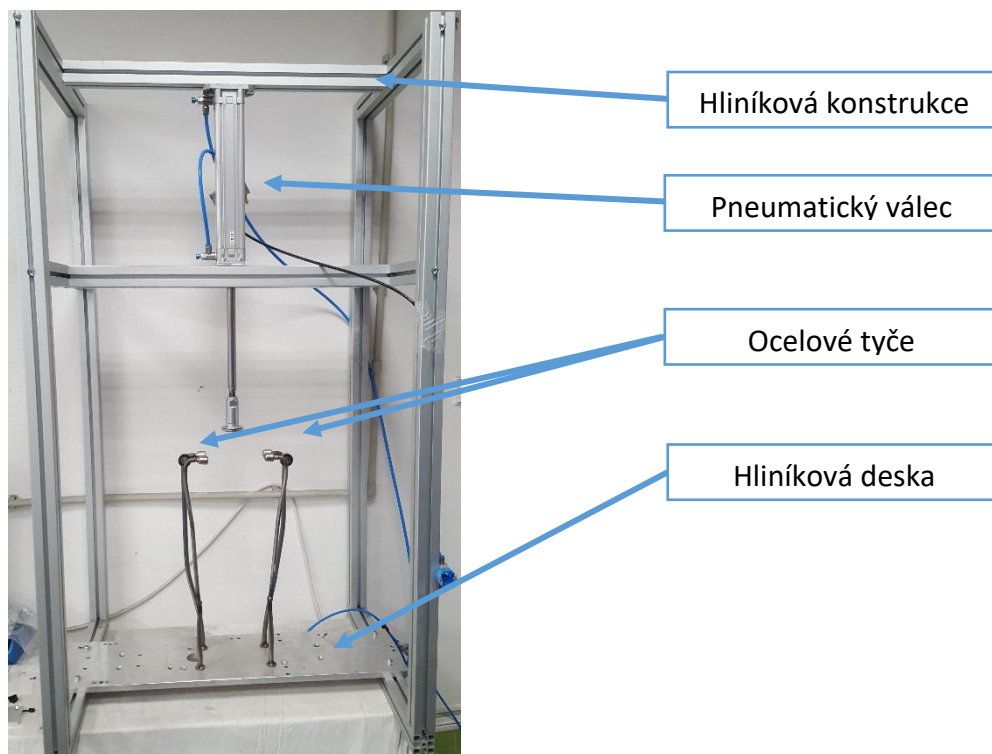


Obr. 20 – Třetí fáze



Obr. 21 – Čtvrtá fáze

Ocelové tyče s ložisky byly přišroubovány k hliníkové desce, která byla smontována s konstrukčním rámem prototypu. Jako lisovací zařízení byl použit dvojčinný pneumatický válec s nástavcem na pístnici. Při stavbě byla použita klasická hliníková konstrukce. Z tohoto funkčního prototypu na Obr. 22 jsou dále odvozeny konstrukční varianty.



Obr. 22 – Prototyp zařízení

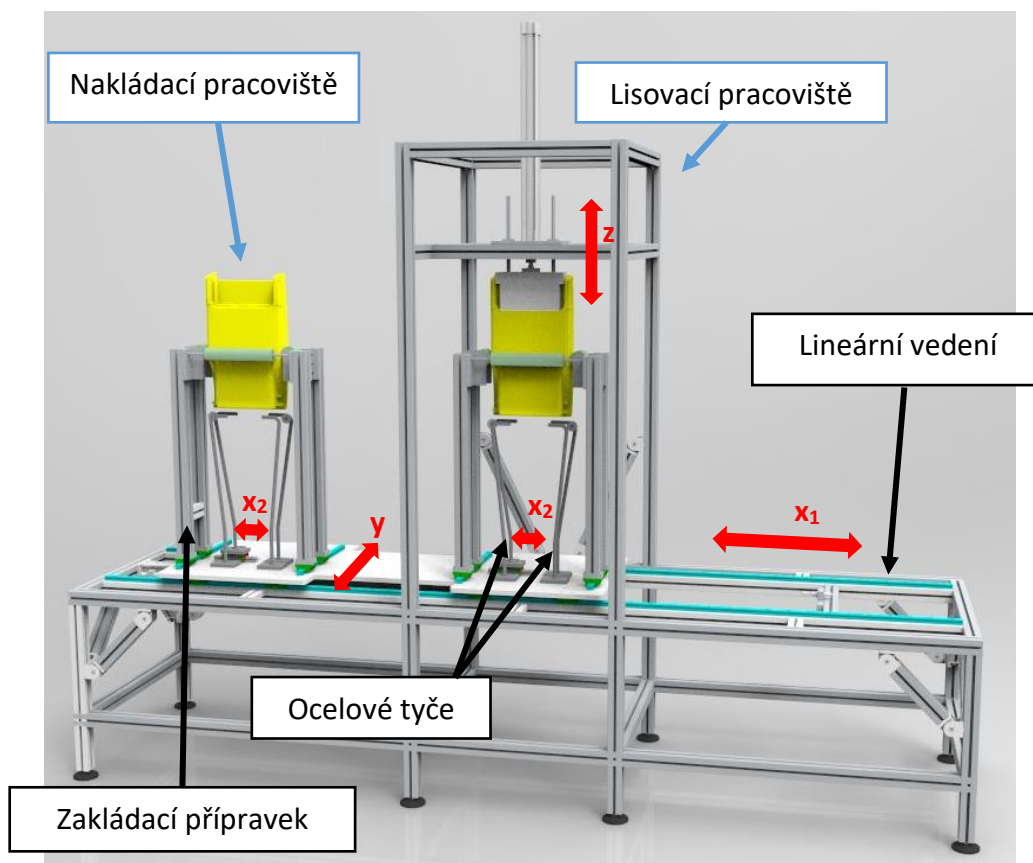
## 6. Návrh konstrukce zařízení

Na základě vybraného koncepčního návrhu, a z něj sestrojeného prototypu, jsou v této kapitole navrženy dvě možná konstrukční řešení zařízení. Navržené varianty jsou konstruovány s ohledem na základní požadavky ergonomie pracovišť.

### 6.1 První varianta

Navržená varianta se skládá ze dvou nakládacích a jednoho lisovacího pracoviště (viz Obr. 23). Nakládací pracoviště je tvořeno ocelovými tyčemi pro nasazení potahu a základacím přípravkem, pohybujícím se v ose  $y$ . Vždy jedna z tyčí se před nasazením potahu zasune pro snadnější nasazení, jejím zpětným vysunutím se potah napne. Základací přípravek je umístěn na lineárním kuličkovém vedení, pomocí kterého se přisouvá a odsouvá, aby měla obsluha prostor pro nasazení potahu. Nakládací pracoviště jsou spojena hliníkovou deskou, která se pohybuje také po lineárním kuličkovém vedení ve směru  $x_1$  naznačeném na obrázku. Jako pohon je zvolen pneumatický válec.

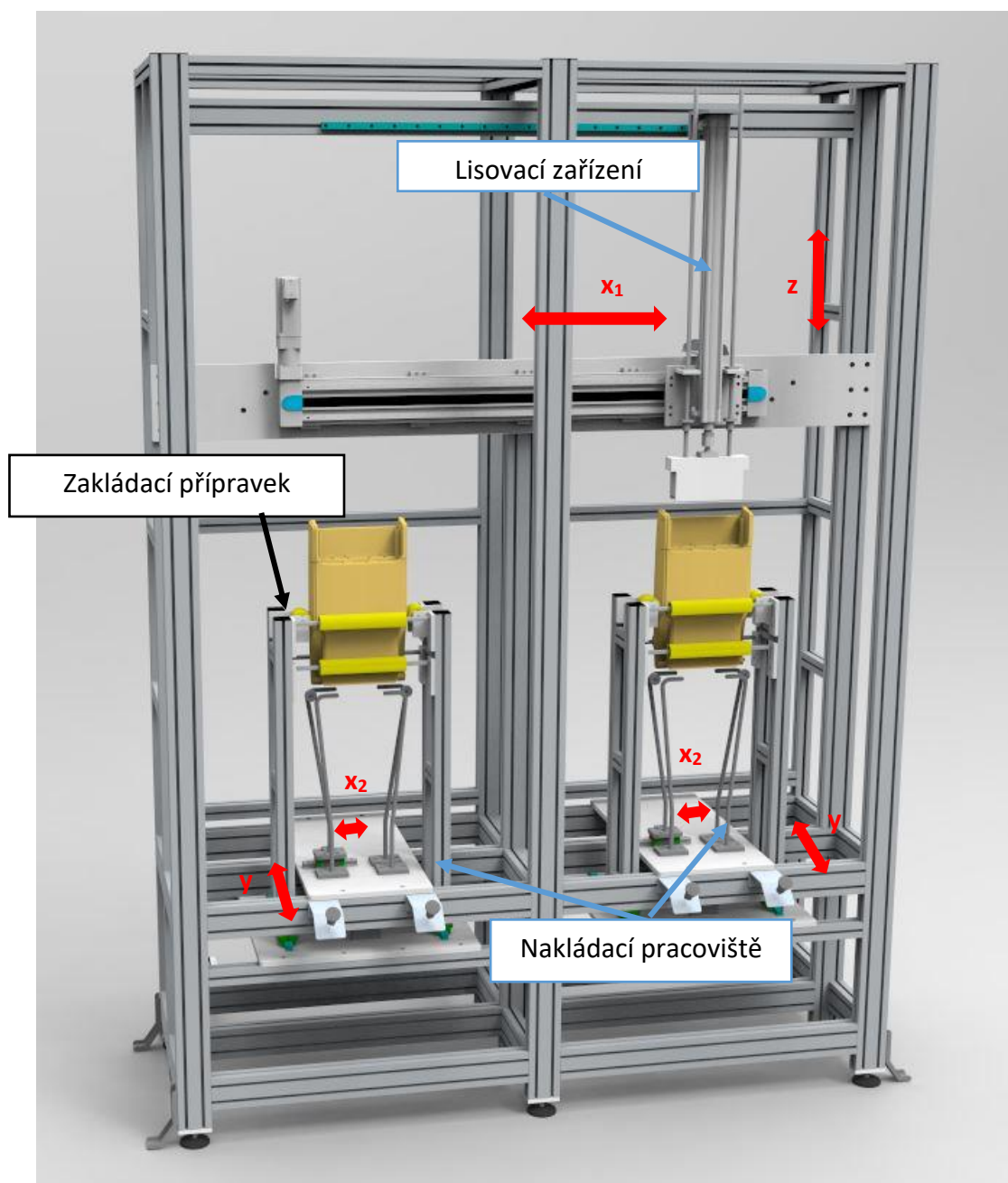
Lisovací pracoviště je umístěno uprostřed a tvořeno hliníkovými profily 45x45, dále se zde nachází pneumatický válec jako lisovací zařízení, které polstruje potah na pěnu pohybem ve směru osy  $z$ . V průběhu operace na lisovacím pracovišti si obsluha může připravit potah a pěnu na nakládacím pracovišti, které se nenachází v procesu lisování. Nevýhodou této varianty je dlouhá vzdálenost, kterou musí obsluha překonat při předpokladu, že zařízení obsluhuje pouze jeden operátor. Dalším negativem je velká šířka zařízení.



Obr. 23 – První varianta

## 6.2 Druhá varianta

Druhá varianta vychází z velké části z první. Hlavním rozdílem je kombinace nakládacího pracoviště s lisovacím pomocí lisovacího zařízení. Nakládací stanoviště zůstávají pevně daná a pohyb vykonává pouze lisovací pracoviště s pneumatickým válcem. Takto navržená varianta je výhodnější. Zařízení je užší a obsluha vykonává pohyby v menším rozsahu. Druhá varianta je na Obr. 24.



Obr. 24 – Druhá varianta

## 7. Konstrukce zařízení

Z porovnání obou variant je patrné, že vhodnější pro realizaci je druhá varianta, která byla vybrána k finální realizaci.

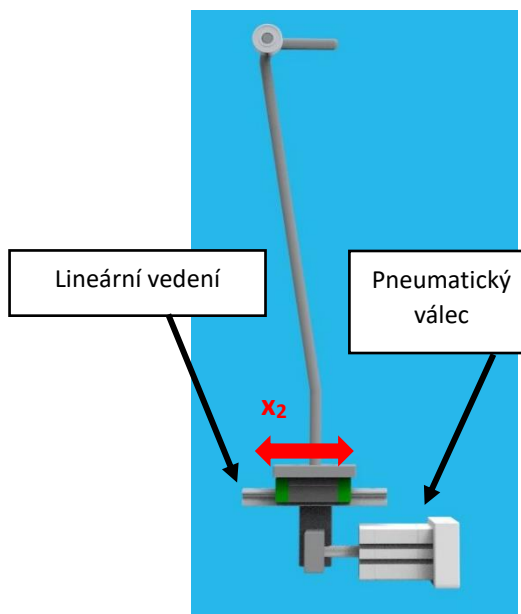
### 7.1 Ocelové tyče

Základním stavebním kamenem celého zařízení jsou čtyři ocelové tyče patřící do nakládacího pracoviště a sloužící k nasazení potahu, které jsou ve své délce 2x ohnuté. Každá z tyčí je navařena ke své desce a ta přišroubována k desce základní (pro lepší názornost na obrázcích Obr. 25 a Obr. 26 základní deska vynechána). Na zadních tyčích jsou nalisována valivá ložiska, čímž dochází k redukci tření mezi potahem a pěnou.

Jedna ze zadních tyčí je umístěna na valivém vedení, zvoleno je kuličkové vedení firmy Hiwin HGH20CA. Dále je pomocí ramene spojena s pneumatickým motorem. Zasunutím tyče ve směru osy  $x_2$  je docíleno snadnějšího nasazení potahu pro obsluhu zařízení, jejím vysunutím dojde k napnutí potahu. Jako pohon je zvolen pneumatický válec firmy Festo o průměru 40 mm a zdvihu 30 mm (označení: ADN-40-30). [5],[7]



Obr. 25 – Ocelové tyče



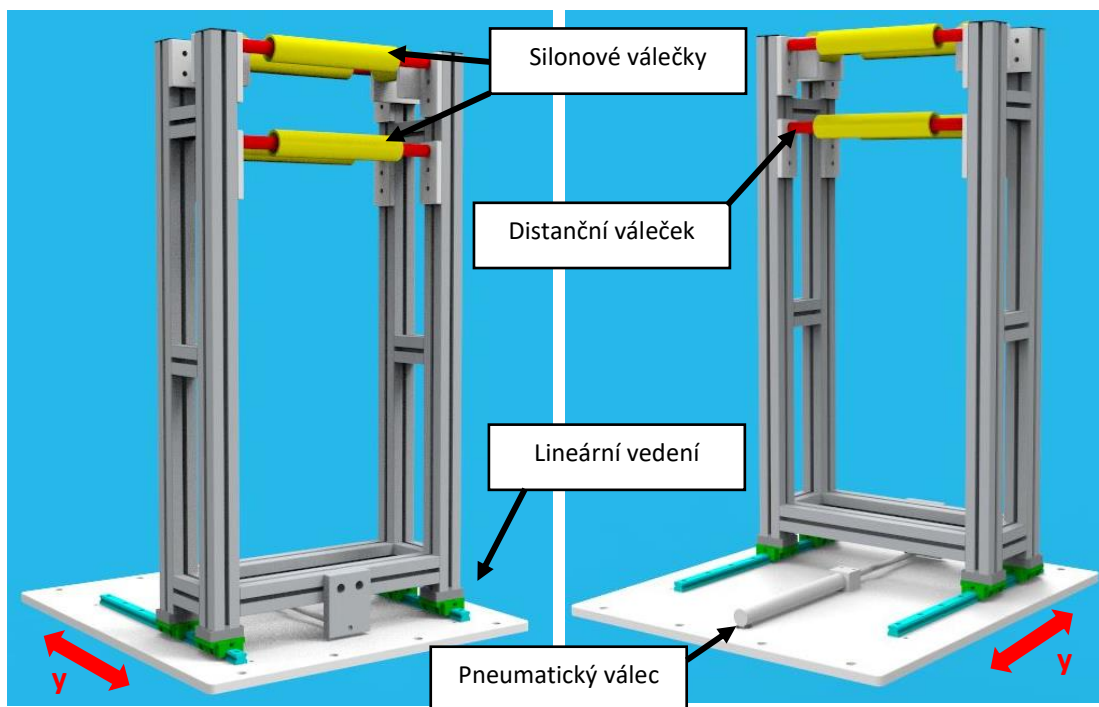
Obr. 26 – Pohyblivá tyč



## 7.2 Zakládací přípravek

Další součástí nakládacího pracoviště je zakládací přípravek, který slouží k založení pěny do správné pozice vůči potahu. Hlavní složkou přípravku jsou silonové válečky (na Obr. 27 a Obr. 28 žlutou barvou), které zajišťují přesnou polohu pěny. V přípravku jsou umístěny čtyři hlavní válečky a dva menší boční, všechny žlutou barvou, červené jsou distanční válečky, které zajišťují přesnou polohu válečků žlutých. Konstrukce přípravku je vytvořena z hliníkových profilů firmy Alutec K&K o rozměrech 45x45, které jsou spojeny menšími profily pro zajištění tuhosti celé konstrukce. [9]

Celý přípravek je umístěn na valivém vedení, zvoleno je přírubové lineární vedení firmy Hiwin QEW20CC (příruba kvůli montáži k profilu). Jako pohon je zvolen kruhový pneumatický válec firmy Festo – DSNU – 25 – 200. Pojezd přípravku je zvolen kvůli většímu prostoru pro nasazení potahu. [5],[7]



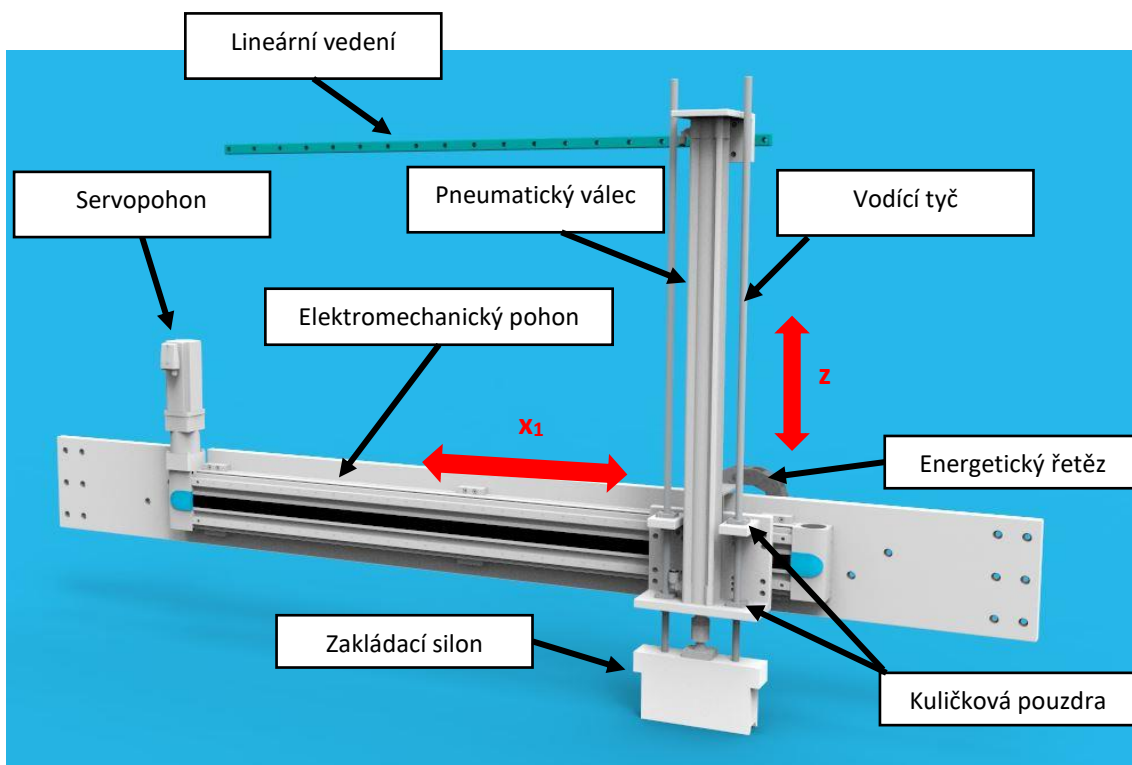
Obr. 27 – Zakládací přípravek – pohled 1

Obr. 28 – Zakládací přípravek – pohled 2

### 7.3 Lisovací zařízení

Lisovací zařízení je realizováno horizontálním a vertikálním posuvem, tím obsluhuje obě nakládací pracoviště. Ve svislém směru není definována přesná poloha, která bude stanovena na základě zkušebních testování již sestaveného zařízení. Z tohoto důvodu byl pro pohyb zvolen pneumatický válec s integrovaným odměřováním firmy Festo – DNCI – 40 – 700, kterým se dá určit poloha vysunutí pístnice s přesností v řádech jednotkách milimetrů, což je pro tuto aplikaci dostačující. Další výhodou zvoleného pneumatického válce je jeho univerzálnost pro jeho budoucí použití na rozměrově odlišné výrobky. K válci je dále přimontován tzv. zakládací silon. Tvar zakládacího silonu odpovídá rozměrům pěnového dílu, tudíž při začátku lisovacího procesu pomáhá eliminovat případné nepřesnosti vzniklé založením do zakládacího přípravku. Po stranách pneumatického válce jsou vodící tyče, jejichž přesné lineární vedení je zaručeno přírubovými kuličkovými pouzdry JBK firmy Hiwin. [6],[7]

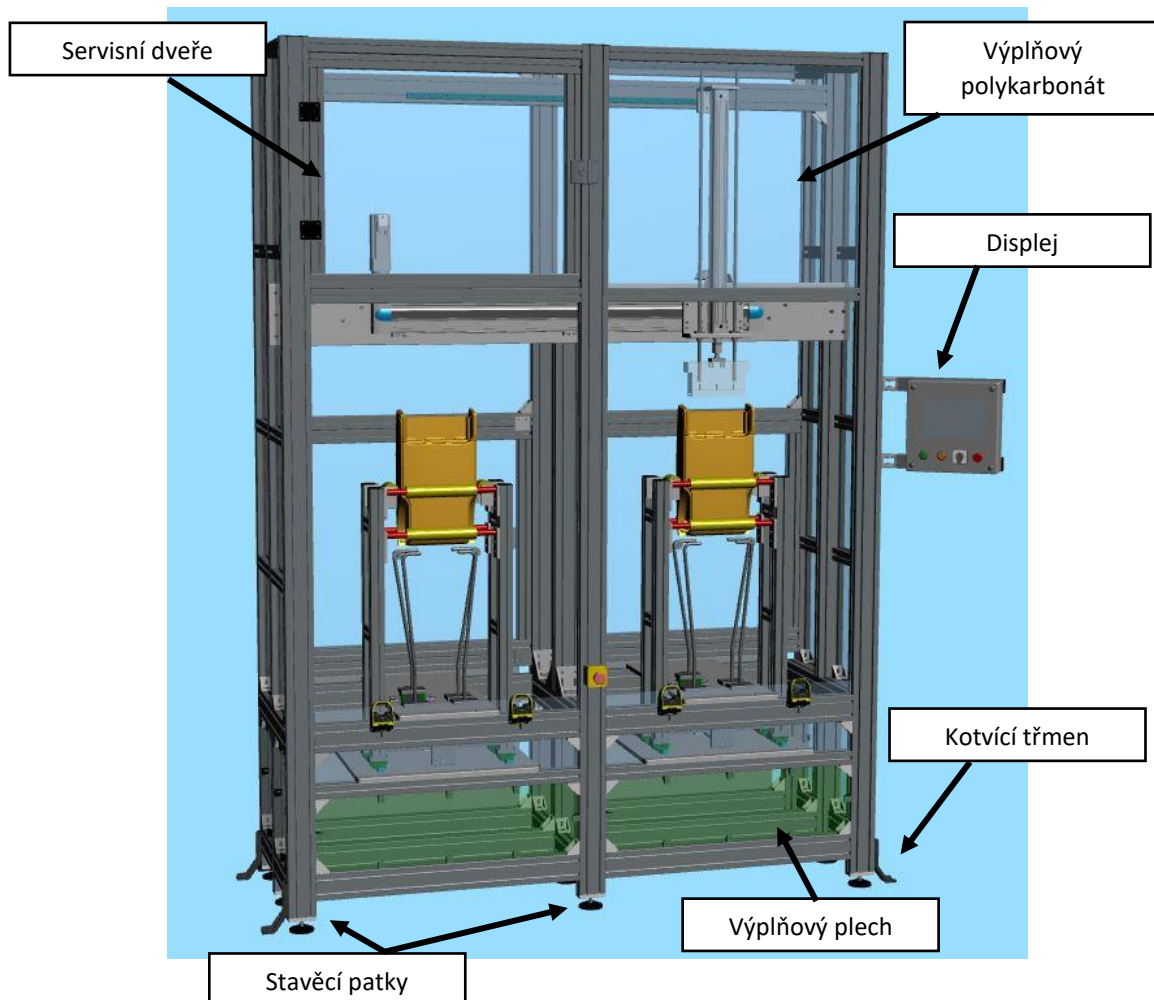
Pro pohyb ve vodorovném směru (roztečná vzdálenost pracovišť 960 mm), je zvolen elektromechanický pohon s ozubeným řemenem EGC-HD-125-1000 firmy Festo, který je určen pro vedení s velkou zátěží a v této konkrétní aplikaci je dostačující. Jako pohonná jednotka je zvolen servomotor, tím je zaručen přejezd zařízení do 2 s. Pro zajištění hadiček vedoucích k pneumatickému válci je vybrán energetický řetěz firmy Icus EF21.025.035.0. Kvůli výšce pneumatického válce je jeho horní část umístěna na přírubovém valivém vedení firmy Hiwin QEW20CA, které je přišroubováno k hliníkovému profilu. Celé lisovací zařízení je na Obr. 29. [5],[7],[10]



Obr. 29 – Lisovací zařízení

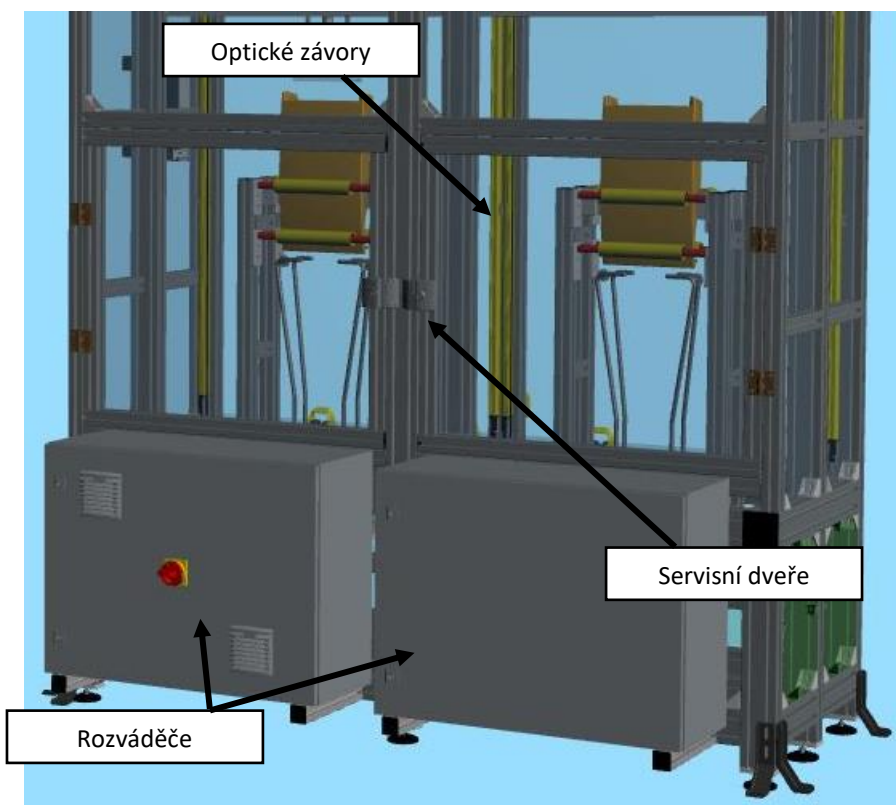
## 7.4 Celková sestava

Celková sestava montážního zařízení je vidět na Obr. 30. Celý rám je sestaven z profilů modulu 45 firmy Alutec o rozměrech 45x45, 45x90, 90x90 a různých délek. Rám zařízení je uložen na podlaze pomocí stavěcí patky, k pevnému ukotvení do země slouží kotvící třmen. Jako výplň a zároveň zabezpečení otvorů v konstrukci slouží polykarbonát o tloušťce 4 mm, které jsou zatmeleny do drážek profilů montážní pěnou. Ve spodní části tvoří výplň plechy (zelené), jelikož jsou odolnější vůči poškození. Na levé straně v horní části zařízení jsou servisní dveře sloužící k případné nutnosti seřízení nebo výměny pohonů nacházejících se v této části. Ve výšce očí je umístěn informativní displej zobrazující případnou poruchu nebo přerušení probíhajícího procesu. [9]



Obr. 30 – Celková sestava

Na zadní straně zařízení se nacházejí dvě rozváděčové skříně firmy Rittal AE 1055.500 o rozměrech 800 x 600 x 240 mm. V jednom je umístěna elektronika a programové řízení zařízení pomocí PLC (skříň s větráním a nouzovým vypínačem), v druhém pneumatické řízení. Nad skříněmi se nacházejí servisní dveře sestavené z komponent firmy Alutec, které slouží pouze pro případ nutnosti servisního zásahu z jiné než přední strany. Výhodnější by bylo umístit rozváděče z bočních stran, které ale musí na přání zákazníka zůstat volné pro přísun materiálu. Bezpečnostním prvkem jsou optické závory od firmy Banner, sloužící k přerušení procesu lisování při přerušení světelných paprsků. Závory jsou schovány za předními profily konstrukce, viditelné jsou ze zadního pohledu na Obr. 31. [9],[11],[12]



Obr. 31 – Celková sestava – zadní pohled

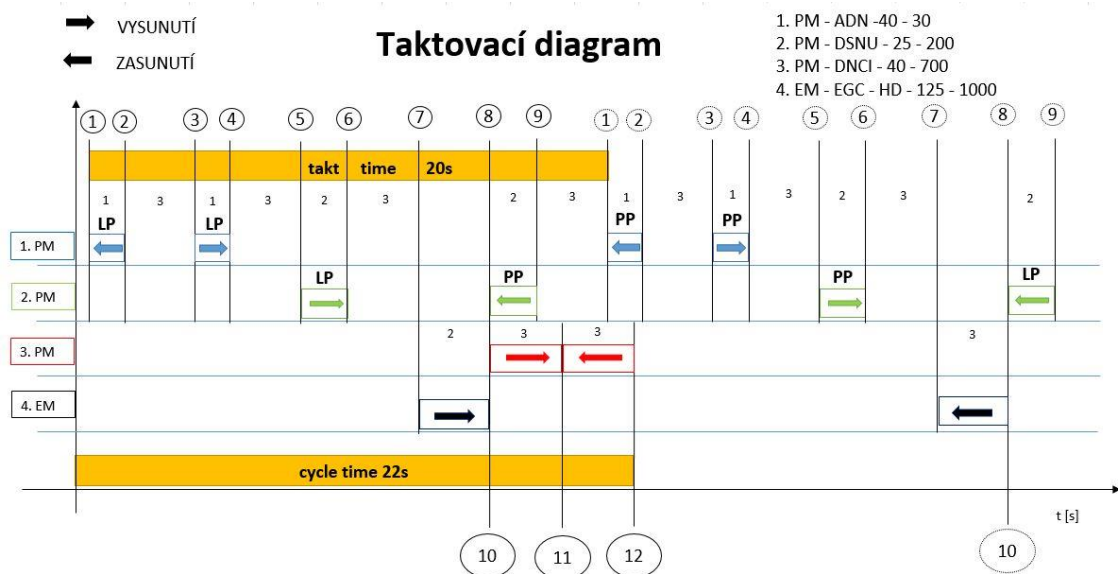
## 8. Návrh pneumatického obvodu

Při návrhu pneumatického obvodu je třeba základními výpočty ověřit zvolené pneumatické válce, stanovit jednotlivé prvky obvodu a vytvořit schéma.

### 8.1 Taktovací diagram

Vzhledem k počtu požadovaných pohybů jednotlivých částí zařízení je nutno sestrojít tzv. taktovací diagram, který slouží k jednoduché názornosti pohybů a lze z něj odvodit požadované doby přestavení, prostoje během procesu apod. Taktovací diagram je pouze orientační, výsledné časy přesunů, vysouvání a zasouvání motorů mohou být rychlejší, čímž dojde k úspoře času pro manuální operace prováděné operátory.

Taktovací diagram je uveden na Obr. 32. Na svislé ose jsou znázorněny jednotlivé pohonné jednotky, na vodorovné ose je znázorněn čas v sekundách. Pomocí odkazových čar s čísly jsou odděleny jednotlivé sekvence pohybů motorů a prostoje. Odhadované časy v sekundách jsou znázorněny mezi odkazovými čarami. Nad 1. PM a 2. PM je zkratkou uvedeno, o které pracoviště se jedná (LP = levé pracoviště, PP = pravé pracoviště). V počáteční poloze je 1. PM vysunut, 2. PM. v levém pracovišti zasunut a v pravém vysunut. 3. PM se nachází na pravém pracovišti a je zasunut.



Jednotlivé sekvence, jejich popis a aktivace jsou uvedeny v tabulce Tabulka 1. Pro lepší přehlednost zavedeno zjednodušení. Příklady zjednodušení:

- 1. PM vysunut = 1.PM V
- Závory na levém pracovišti aktivní = ZL 1, neaktivní = ZL 0
- 4. EM přesunut v pravém pracovišti = EM P.

Tabulka 1 – Popis sekvencí

Č.	Aktivace	Popis	Podmínky	Čas [s]	
1	Tlačítko	Zasunutí 1. PM pro snadnější nasazení potahu	2. PM Z, ZL 0, ZP 1, EM P	1	
2	Konec zdvihu	Nasazení potahu – časová prodleva	2. PM Z, ZL 0, ZP 1, EM P	3	
3	Tlačítko	Vysunutí 1. PM pro napnutí potahu	2. PM Z, ZL 0, ZP 1, EM P	1	
4	Konec zdvihu	Kontrola pozic švů – časová prodleva	2. PM Z, ZL 0, ZP 1, EM P	3	
5	Tlačítko	Vysunutí zakl. Přípravku pomocí 2. PM pro založení pěny	1. PM V, ZL 0, ZP 1, EM P	2	
6	Konec zdvihu	Založení pěny – časová prodleva	1. PM V, ZL 0, ZP 1, EM P	3	
7	Tlačítko	Přesunutí 4. EM na druhou stranu (s 3. PM) + aktivace závor na levé straně + časová prodleva přesun na druhé pracoviště	ZL 1, ZP 0, 1. PM V, 2. PM V, EM L	2	
8	Tlačítko	Zasunutí 2. PM válce pro vyndání výrobku	1. PM V, ZL 1, ZP 0, EM L	2	<b>Takt time [s]</b>
9	Konec zdvihu	Vyndání výrobku -> operátor přesun do bodu 1	1. PM V, ZL 1, ZP 0, EM L	3	<b>20</b>
10	Automaticky	Po dojetí 4. EM na určenou pozici sjíždí automaticky válec 3. PM	1. PM V, 2. PM V, ZL 1, ZP 0	3	
11	Automaticky	3. PM se vysouvá a ihned zasouvá	1. PM V, 2. PM V, ZL 1, ZP 0	3	
12	Konec zdvihu	Čekání na aktivaci bodu 7	1. PM V, 2. PM V, ZL 1, ZP 0		

## 8.2 Kontrolní výpočty pneumatických válců

Pneumatické pohony navržené v konstrukční části je potřeba ověřit kontrolními výpočty. Hlavní kontrolovanou položkou je síla vyvozená pístem, z které vyplývá potřebný tlak přivedený do válce. Pneumatický mechanismus musí nejprve zrychlit z klidové polohy na maximální rychlost, přičemž překonává setrvačné síly. Po dosažení maximální rychlosti překonává pouze tření ve vedení, při zpomalování překonává opět setrvačné síly.

Ve výpočtech se vychází ze zvolené doby přestavení, zvoleného času a dráhy, po které dojde k dosažení maximální rychlosti pohybu pístu. Pro zjednodušení výpočtu se předpokládá, že všechny síly působí v ose pneumatického pohonu. Síly a tlaky jsou záměrně počítány na účinnou plochu pneumatického válce na straně s pístnicí, kde je plocha pístu zmenšena o plochu pístnice.

## 8.2.1 Pneumatický válec č. 1

1. PM byl zvolen pro pohyb zadní tyče, jeho označení je ADN-40-30. [7]

### Dané hodnoty:

Průměr pístu	$D_1 = 40 \text{ mm}$
Průměr pístnice	$d_1 = 16 \text{ mm}$
Zdvih	$H_1 = 30 \text{ mm}$
Hmotnost přesouvaného břemene	$m_1 = 2,5 \text{ kg}$
Součinitel tření ve valivém vedení	$\mu = 0,04$ [5]

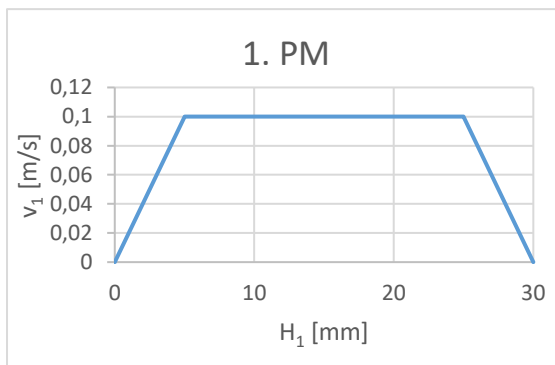
### Zvolené hodnoty:

Doba přestavení	$t_1 = 1 \text{ s}$
Doba zrychlování	$t_{z1} = 0,1 \text{ s}$
Dráha zrychlování	$s_{z1} = 5 \text{ mm}$

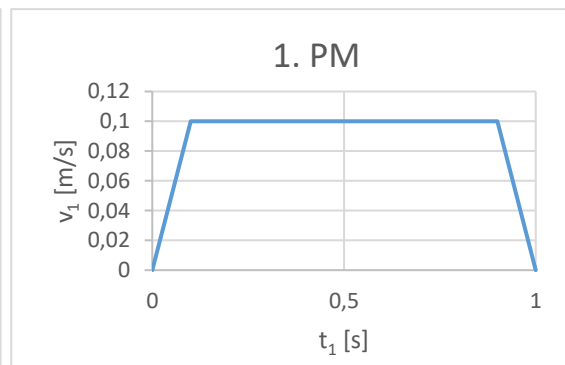
Zrychlení vypočteno ze vztahu:

$$s_{z1} = \frac{1}{2} \cdot a_1 \cdot t_{z1}^2 \rightarrow a_1 = \frac{2 \cdot s_{z1}}{t_{z1}^2} = \frac{2 \cdot 0,005}{0,1^2} = 1 \text{ m/s}^2 \quad (1)$$

Z těchto hodnot vychází závislosti rychlosti na zdvihu Graf 1 a na čase Graf 2.



Graf 1 – Závislost rychlosti na zdvihu – 1. PM

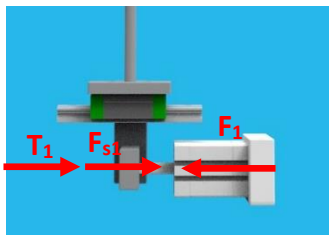


Graf 2 – Závislost rychlosti na čase – 1. PM

V následujících výpočtech sil je počítáno s plochou pístu zmenšenou o průměr pístnice:

$$S_{z1} = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_1^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,04^2 - 0,016^2)}{4} = 0,0011 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Z rovnováhy sil na Obr. 33 požadovaná síla a tlak:



Obr. 33 – Výpočet sil 1. PM

$$F_1 = T_1 + F_{s1} = m_1 \cdot g \cdot \mu + m_1 \cdot a_1 \quad (3)$$

$$F_1 = 2,5 \cdot 9,81 \cdot 0,04 + 2,5 \cdot 1 = 3,48 \text{ N} \quad (4)$$

$$p_1 = \frac{F_1}{S_{z1}} = \frac{3,48}{0,0011} = 0,03 \text{ bar} \quad (5)$$

Vypočtené hodnoty tlaku a síly jsou velice malé a hodnotu  $p_1 = 0,03$  bar není možné dosáhnout. Výpočet je pouze orientační a je z něj patrné, že navržený motor je předdimenzován a bude zapojen ve stejné větvi s 2. PM, který je kontrolován v další kapitole. Tímto krokem je zajištěna dostatečná silová a tlaková rezerva pro 1. PM, vzhledem k jeho určení (napínání potahu).

### 8.2.2 Pneumatický válec č. 2

2. PM byl zvolen pro pohyb zakl. přípravku, jeho označení je DSNU-25-200. [7]

#### Dané hodnoty:

Průměr pístu	$D_2 = 25$ mm
Průměr pístnice	$d_2 = 10$ mm
Zdvih	$H_2 = 200$ mm
Hmotnost přesouvaného břemene	$m_2 = 40$ kg
Součinitel tření ve valivém vedení	$\mu = 0,04$ [5]

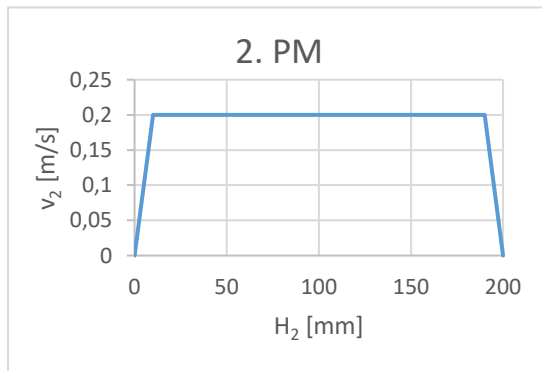
#### Zvolené hodnoty:

Doba přestavení	$t_2 = 1,5$ s
Doba zrychlování	$t_{z2} = 0,1$ s
Dráha zrychlování	$s_{z2} = 10$ mm

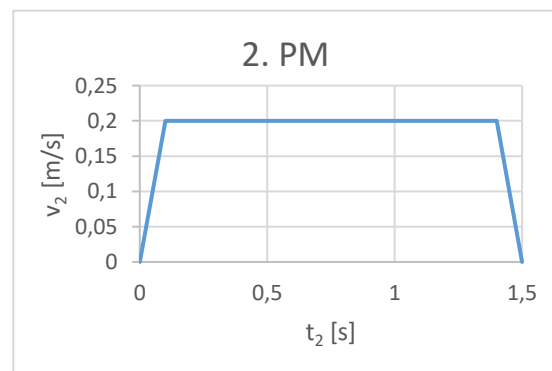
Zrychlení vypočteno ze vztahu:

$$s_{z2} = \frac{1}{2} \cdot a_2 \cdot t_{z2}^2 \rightarrow a_2 = \frac{2 \cdot s_{z2}}{t_{z2}^2} = \frac{2 \cdot 0,01}{0,1^2} = 2 \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

Z těchto hodnot vychází závislosti rychlosti na zdvihu Graf 3 a na čase Graf 4.



Graf 3 – Závislost rychlosti na zdvihu – 2. PM



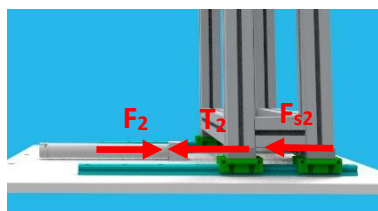
Graf 4 – Závislost rychlosti na čase – 2. PM

V následujících výpočtech sil je počítáno s plochou pístu zmenšenou o průměr pístnice:

$$S_{22} = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,025^2 - 0,01^2)}{4} = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (7)$$



Z rovnováhy sil na Obr. 34 požadovaná síla a tlak:



$$F_2 = T_2 + F_{s2} = m_2 \cdot g \cdot \mu + m_2 \cdot a_2 \quad (8)$$

$$F_2 = 40 \cdot 9,81 \cdot 0,04 + 40 \cdot 2 = 95,70 \text{ N} \quad (9)$$

$$p_2 = \frac{F_2}{S_{22}} = \frac{95,70}{4,12 \cdot 10^{-4}} = 2,32 \text{ bar} \quad (10)$$

Vypočtené hodnoty  $p_2 = 2,32 \text{ bar}$  již lze dostupnými ventily dosáhnout. Vzhledem ke ztrátám a k ponechání určité rezervy (případná rychlost válce a s tím související čas přestavení) je zvolen tlak  $p_2 = 3 \text{ bar}$ . Síla vyvozená pístem bude převyšovat hodnotu 100 N.

Teoretická průměrná spotřeba vzduchu  $Q_2$  je vypočítaná z rovnice (11), kde: koeficient 1,4 je kvůli kompenzaci termodynamických ztrát,  $D$  je průměr pístu [mm],  $p$  tlak vzduchu ve válci [MPa],  $v$  rychlost pístu (pístnice) [mm/s] odečtená z grafů a konstanta 60 je ve vzorci kvůli převodu na minuty. [4]

$$Q_2 = \frac{1,4 \cdot D_2^2 \cdot \pi \cdot v_2 \cdot (p_2 + 0,1) \cdot 60}{4 \cdot 10^5} \quad (11)$$

$$Q_2 = \frac{1,4 \cdot 25^2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot (0,3 + 0,1) \cdot 60}{4 \cdot 10^5} = 33 \text{ l/min} \quad (12)$$

Vypočtená hodnota průtoku  $Q_2 = 33 \text{ l/min}$  se blíží uvedené hodnotě pro tlak  $p = 5 \text{ bar}$  a průměr pístu  $D_2 = 25 \text{ mm}$  v tabulce Tabulka 2, ve které je uvedena běžná spotřeba pneumatických válců.

Tabulka 2 – Spotřeba vzduchu dvojčinných válců v l/min při tlaku  $p = 0,5 \text{ MPa}$  [4]

ø pístu (mm)	rychlost pístu v (mm/s)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
20	16	32	47	63	79	95	111	127	142	158
25	25	49	74	99	124	148	173	198	223	247
32	41	81	122	162	203	243	284	324	365	405
40	63	127	190	253	317	380	443	506	570	633
50	99	198	297	396	495	593	692	791	890	989
63	157	314	471	628	785	942	1099	1256	1413	1570
80	253	506	760	1013	1266	1519	1772	2026	2279	2532
100	396	791	1187	1583	1978	2374	2769	3165	3561	3956

### 8.2.3 Pneumatický válec č. 3

3. PM je součástí lisovacího zařízení sloužící k samotnému lisování opěrky. Požadovaný tlak není stanoven a kontrolován ze zvolených hodnot, ale je určen na základě experimentu na funkčním prototypu (Kap. 5.). Pneumatický válec používaný u prototypu byl DSBC – 32 – 400, zdroj stlačeného vzduchu v experimentálním prostředí byl o hodnotě  $p_3 = 6$  bar, síla vyvozená tímto motorem byla k polstrování potahu dostačující. K ponechání určité rezervy byl v konstrukční variantě zvolen pohon o stejné konstrukci, větším průměru pístu a delším zdvihu DNCI – 40 – 700, lišící se oproti válcům DSBC pouze zakomponovaným vnitřním odměřováním. [7]

Výpočet rychlosti je proveden z jednoduchého vztahu (13), kde  $H_3$  je zdvih [mm],  $v_3$  rychlost [mm/s],  $t_3$  čas [s]. Zvolený čas přestavení  $t_3 = 1,5$  s.

$$H_3 = v_3 \cdot t_3 \rightarrow v_3 = \frac{H_3}{t_3} = \frac{700}{1,5} = 466,67 \text{ mm/s} \rightarrow \mathbf{500 \text{ mm/s}} \quad (13)$$

Při takovémto zjednodušeném výpočtu není bráno v potaz původní potřebné zrychlení jako u předchozích válců, vypočtená rychlost je navýšena na  $v_3 = 500$  mm/s. Teoretická průměrná spotřeba vzduchu  $Q_3$  vypočítaná z již známe rovnice (11) je:

$$Q_3 = \frac{1,4 \cdot 40^2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot (0,6 + 0,1) \cdot 60}{4 \cdot 10^5} = \mathbf{369,45 \text{ l/min}} \quad (14)$$

Vypočtená hodnota se opět blíží hodnotám uvedeným v tabulce Tabulka 2. Zvolené tlaky a rychlosti pneumatických válců odpovídají běžným hodnotám.

## 8.3 Specifikace prvků

Specifikace prvků pneumatického obvodu je založena na základních výpočtových úvahách a odečítání z tabulek. V předchozí kapitole již bylo zmíněno, že 1. PM bude dimenzován spolu s 2. PM a budou tak tvořit jednu větev a jejich navrhované prvky budou stejné. Druhou samostatnou větev tvoří 3. PM. Prvky pneumatického obvodu jsou voleny od firmy Festo. Specifikované jsou pouze funkční prvky, nikoliv ostatní prvky jako např. ventilový terminál, upeňovací sada, kabely vedoucí od ventilů a čidel.

### 8.3.1 První větev

První větev je tvořena 1. PM a 2. PM. Tato větev bude v obvodu dvakrát vzhledem k dvěma nakládacím pracovištím a je dimenzována hodnotami spočítanými v předešlých kapitolách (Kap. 8.2.2).

#### Návrh průměru vedení stlačeného vzduchu

Průměry hadic pneumatického obvodu se dimenzují na základě poměrného průřezu soustavy prvků, který je odečten z níže uvedených tabulek a grafů.

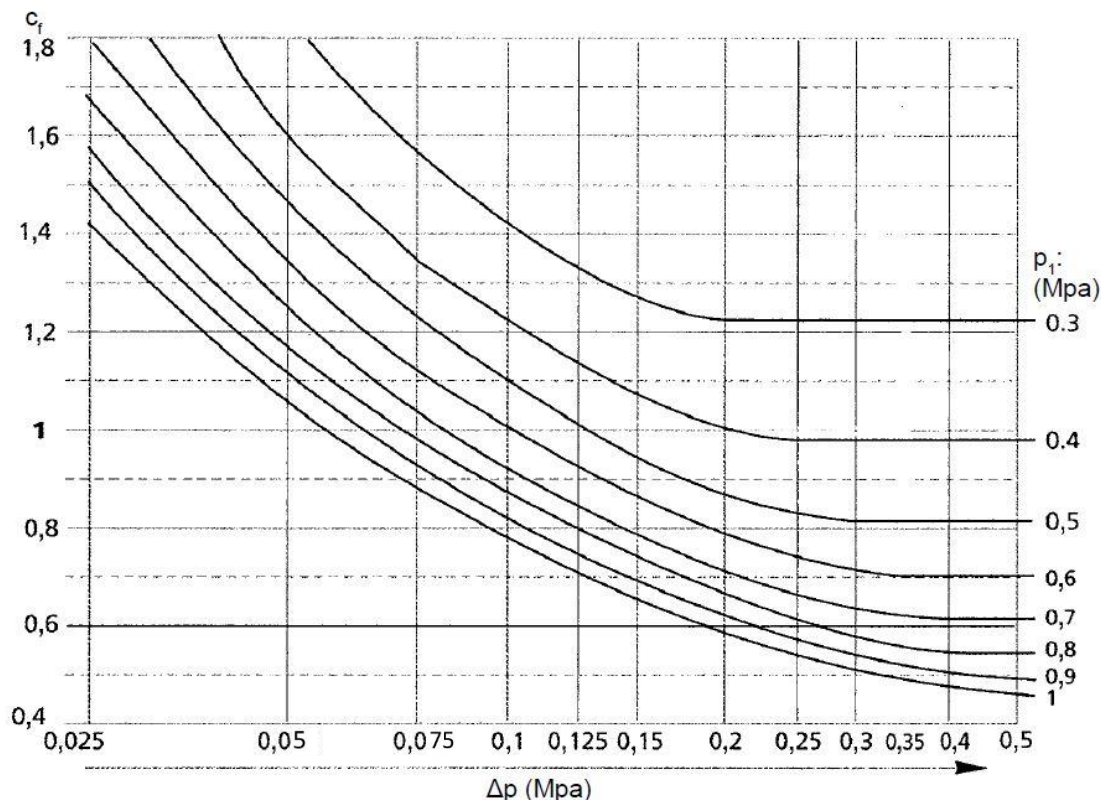
Z tabulky Tabulka 3 pro průměr pístu  $D_2 = 25$  mm a rychlost pístnice  $v_2 = 200$  mm/s vychází poměrný průřez  $\sum S_2 = 1,3$  mm<sup>2</sup>. V tabulce jsou uvedeny hodnoty pro tlak  $p = 0,6$  MPa a tlakový spád  $\Delta p = 0,1$  MPa, v případě jiných hodnot se poměrný průřez vynásobí opravným koeficientem  $c_f$  odečteným z grafu Graf 5. [4]

V případě první větve je tlak  $p_2 = 0,3$  MPa a zvolený tlakový spád  $\Delta p_2 = 0,05$  MPa, odečtená hodnota koeficientu  $c_f = 1,58$  a skutečný poměrný průřez bude:

$$\sum S'_2 = \sum S_2 \cdot c_f = 1,3 \cdot 1,58 = 2,47 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

Tabulka 3 – Poměrný průřez  $\sum S$  pro tlak 0,6 MPa a  $\Delta p = 0,1$  MPa [4]

ø pístu (mm)	rychlost pístu/pístnice (mm/s)									
	50	100	150	200	250	300	400	500	750	1000
8, 10	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,75	1
12, 16	0,12	0,23	0,36	0,46	0,6	0,72	1	1,2	1,8	2,4
20	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	3	4
25	0,35	0,67	1	1,3	1,7	2	2,7	3,4	5	6,7
32	0,55	1,1	1,7	2,2	2,8	3,7	4,4	5,5	8,5	11
40	0,85	1,7	2,6	3,4	4,3	5	6,8	8,5	12,8	17
50	1,4	2,7	4	5,4	6,8	8,1	10,8	13,5	20,3	27
63	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	16,8	21	31,5	42
80	3,4	6,8	10,2	13,6	17	20,4	27,2	34	51	68
100	5,4	10,8	16,2	21,6	27	32,4	43,2	54	81	108
125	8,4	16,8	25,2	33,6	42	50,4	67,2	84	126	168
140	10,6	21,1	31,7	42,2	52,8	62	84,4	106	158	211
160	13,8	27,6	41,4	55,2	69	82,8	110	138	207	276



Graf 5 – Opravný koeficient  $c_f$  pro odlišné tlakové poměry [4]

Následný vnější a vnitřní průměr hadice je zvolen z tabulky. Nejbližše vypočítané hodnotě je z tabulky Tabulka 4 poměrný průřez  $\Sigma S = 2,76 \text{ mm}^2$  při volbě nástrčných spojek. Z hlediska tlakové rezervy obvodu jsou zvoleny průměry o stupeň vyšší:  $D \times d = 6 \times 4 \text{ mm}$ , čemuž při využití nástrčných spojek odpovídá hodnota celkové poměrného průřezu do  $\Sigma S = 5,96 \text{ mm}^2$ . [4]

Tabulka 4 – Poměrné průřezy jednotlivých prvků [4]

ø hadice (mm)	materiál N = nylon U = uretan	délka hadice		typ šroubení				$\Sigma S$
		0,5 m	1,0 m	s přesuvnou maticí		nástrčná spojka		
				přímé	úhlové	přímé	úhlové	
4 × 2,5	N, U	3,87	1,86	1,6	1,6	5,6	4,2	1,08 2,76
6 × 4	N, U	7,78	6,12	6,0	6,0	13,1	11,4	3,72 5,96
8 × 5	U	13,41	10,65	11,0	9,5	18,0	14,9	6,73 9,23
8 × 6	N	18,85	16,64	17,0	12,0	26,1	21,6	10,13 13,19
10 × 6,5	U	24,50	20,19	30,0	23,0	29,5	25,0	16,04 15,88
10 × 7,5	N	33,38	20,19	35,0	24,0	41,5	35,2	19,88 22,04
12 × 8	U	39,16	33,18	35,0	24,0	46,1	39,7	20,92 25,05
12 × 9	N	51,00	43,79	45,0	27,0	58,3	50,2	27,00 32,06

Na základě těchto hodnot je zvolena hadice **PUN – 6x1 – BL**, která má odpovídající rozměry. [13]

### Návrh šroubení pro připojení vzduchu do válců

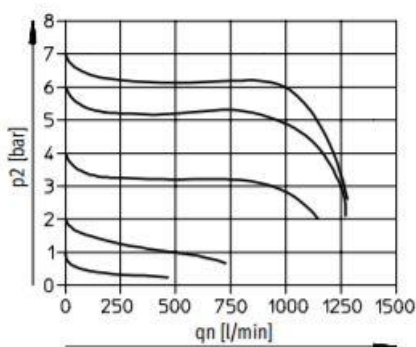
Oba pneumatické válce vyskytující se v první větvi mají vnitřní závit G 1/8. Pro oba válce lze zvolit stejné šroubení typu mini **QSM – G1/8 – 6**, což je výrobcem doporučeno pro zvolený průměr hadic. [13]

### Návrh škrtkovacího ventilu

Pro oba pneumatické válce zvolen stejný škrtkovací ventil **GRLA – 1/8 – QS – 6 – D** odpovídající závitů ve válcích a průměru hadic. [14]

### Návrh redukčního ventilu

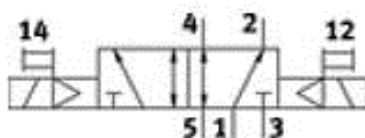
Redukční ventil je zvolen jako modulární jednotka obsahující filtr a maznici. Označení: **MSB4 – FRC** s připojením pneumatiky G1/8. Rozsah tlaků ventilu je 0,5 – 12 barů. Charakteristika ventilu (závislost výstupního tlaku na průtoku) při vstupním tlaku  $p_1 = 10$  bar je uvedena v grafu Graf 6. Z charakteristiky je patrné, že zvoleného tlakového spádu  $\Delta p_2 = 0,05$  MPa při tlaku  $p_2 = 3$  bar lze tímto ventilem docílit. [15]



Graf 6 – Charakteristika redukčního ventilu [15]

### Návrh rozváděče

K rozvádění vzduchu na odlišné strany pneumatického válce je zvolen pěticestý dvoupolohový rozváděč elektricky ovládaný s označením **VUVG – BK14 – B52 – T – F – 1R8L – S**, který plně koresponduje s již navrženými prvky. [15]



Obr. 35 – Rozváděč Festo [15]

### Návrh koncových snímačů

Vzhledem k potřebě hlídání koncových poloh u 2. PM, je zvoleno elektronické čidlo do T drážky, které lze shora nasadit do drážky nebo vestavit do profilu válce. Kódové označení je **SMT-8M-A-PS-24V-E-2,5-OE**.

### Kontrola maximální přípustné délky hadice

Délka hadic mezi ventilem a pneumatických pohonem by měla být co nejkratší, aby nevzrůstala spotřeba vzduchu a nevznikal v příliš dlouhém vedení kondenzát. Maximální objem hadice by měl dosahovat maximálně 70 % objemu pohonu samotného, vyjádřeno vzorcem (16), kde  $V_2$  je objem hadice a  $V_1$  je objem pohonu při atmosférickém tlaku. [4]

$$V_2 = V_1 \cdot 0,7 \quad (16)$$

Kontrola provedena pro objemově větší 2. PM.

$$V_{12} = \frac{\pi \cdot D_2^2 \cdot H_2}{4} = \frac{\pi \cdot 25^2 \cdot 200}{4} \cong 98\,175 \text{ mm}^3 \quad (17)$$

Jelikož je do válce přiváděn tlak  $p_2 = 0,3 \text{ MPa}$ , bude upravený objem:

$$V'_{12} = V_{12} \cdot \frac{0,3 + 0,1}{0,1} = 98\,175 \cdot \frac{0,3 + 0,1}{0,1} \cong 392\,700 \text{ mm}^3 \quad (18)$$

Objem hadice  $V'_{22}$  bude:

$$V'_{22} = V'_{12} \cdot 0,7 = 392\,700 \cdot 0,7 \cong 275\,000 \text{ mm}^3 \quad (19)$$

A z toho maximální přípustná délka hadice  $L_{h1}$ , kde  $d_{h1}$  je vnitřní průměr hadice, bude:

$$L_{h1} = \frac{4 \cdot V'_{22}}{d_{h1}^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 275\,000}{4^2 \cdot \pi} = 21\,875 \text{ mm} \cong 22 \text{ m} \quad (20)$$

S ohledem na konstrukci zařízení je maximální odhadovaná délka hadic 5 m, což je hodnota výrazně menší než maximální přípustná hodnota.

### 8.3.2 Druhá větev

Druhá větev je tvořena pouze pro 3. PM. Tato větev je dimenzována hodnotami spočítanými v předešlých kapitolách (Kap. 8.2.3).

#### Návrh průměru vedení stlačeného vzduchu

Průměr hadice pneumatického obvodu je dimenzován stejným způsobem jako u předchozí větve.

Z tabulky Tabulka 3 pro průměr pístu  $D_3 = 40$  mm a rychlost pístnice  $v_3 = 500$  mm/s vychází poměrný průřez  $\sum S_3 = 5,5$  mm<sup>2</sup>. Zvolený tlakový spád je  $\Delta p_3 = 0,1$  MPa. Hodnotu poměrného průřezu již není nutné přepočítávat. [4]

Nejblíže odečtené hodnotě  $\sum S_3 = 5,5$  mm<sup>2</sup> je z tabulky Tabulka 4 poměrný průřez  $\sum S = 5,96$  mm<sup>2</sup> při volbě nástrčných spojek. Z hlediska tlakové rezervy obvodu a dodávaných rozměrů výrobcem jsou zvoleny průměry o stupeň vyšší. Výrobcem dodávaná hadice má rozměry:  $D \times d = 8 \times 5,5$  mm, čemuž při využití nástrčných spojek odpovídá hodnota poměrného průřezu v rozmezí  $\sum S = 9,23 \div 13,19$  mm<sup>2</sup>. [4]

Na základě těchto hodnot je zvolena hadice **PUN – 8x1,25 – BL**, která má odpovídající rozměry. [13]

#### Návrh šroubení pro připojení vzduchu do válců

Pneumatický válec vyskytující se v druhé větvi má vnitřní závit G 1/4. Zvoleno klasické šroubení **QSL – G1/4 – 8**, což je výrobcem doporučeno pro zvolený průměr hadic. [13]

#### Návrh škrtkícího ventilu

Jako škrtkící ventil zvolen **GRLA – 1/4 – QS – 8 – D** odpovídající závitů ve válcích a průměru hadic. [14]

#### Návrh redukčního ventilu

Redukční ventil pro druhou větev je zvolen stejný jako ve větvi první tedy **MSB4 – FRC** s připojením pneumatiky G1/8. Z charakteristiky je patrné, že zvoleného tlakového spádu  $\Delta p_3 = 0,1$  MPa při tlaku  $p_3 = 6$  bar lze tímto ventilem docílit. [15]

#### Návrh přesného redukčního ventilu

Přesný redukční ventil je do obvodu zařazen kvůli nastavení síly, kterou vyvozuje 3. PM, jelikož je nutné nastavit optimální sílu vysouvání při prvotním testování zařízení. Zvolen je ventil s označením **LRPS – 1/4 – 10**. Zařazením takového prvku nedochází ke změně průtoku, protože jeho normální jmenovitý průtok je 2 300 [l/min]. V případě větších průtoků při zasouvání 3. PM lze k redukčnímu ventilu zapojit ventil zpětný. Toto řešení je naznačeno v celkovém pneumatickém obvodu v příloze Příloha 2. [15]

### Návrh rozváděče

K rozvádění vzduchu na odlišné strany pneumatického válce je zvolen stejný rozváděč jako v první větvi s označením **VUVG – BK14 – B52 – T – F – 1R8L – S**, který plně koresponduje s již navrženými prvky. [15]

### Kontrola maximální přípustné délky hadice

Kontrola je provedena stejným způsobem, jako v první větvi. Pro 3. PM platí:

$$V_{13} = \frac{\pi \cdot D_2^2 \cdot H_3}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2 \cdot 700}{4} \cong 563\,000 \text{ mm}^3 \quad (21)$$

Jelikož je do válce přiváděn tlak  $p_3 = 0,6 \text{ MPa}$ , bude upravený objem:

$$V'_{13} = V_{13} \cdot \frac{0,6 + 0,1}{0,1} = 563\,000 \cdot \frac{0,6 + 0,1}{0,1} \cong 3\,941\,000 \text{ mm}^3 \quad (22)$$

Objem hadice  $V_{23}'$  bude:

$$V'_{23} = V'_{13} \cdot 0,7 = 3\,941\,000 \cdot 0,7 \cong 2\,759\,000 \text{ mm}^3 \quad (23)$$

A z toho maximální přípustná délka hadice  $L_{h2}$ , kde  $d_{h2}$  je vnitřní průměr hadice, bude:

$$L_{h2} = \frac{4 \cdot V_{23}'}{d_{h2}^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 2\,759\,000}{5,5^2 \cdot \pi} = 116\,130 \text{ mm} \cong 115 \text{ m} \quad (24)$$

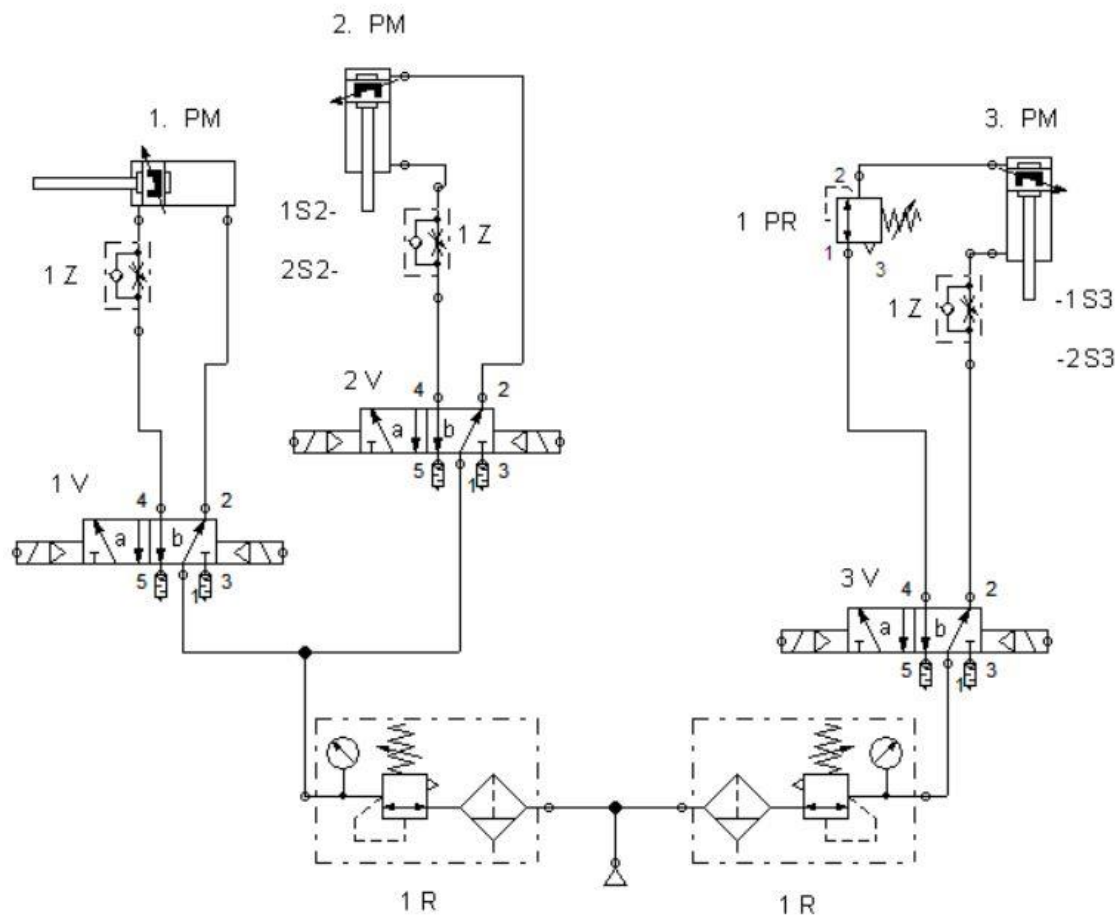
S ohledem na konstrukci zařízení je maximální odhadovaná délka hadic 7 m, což je hodnota výrazně menší než maximální přípustná hodnota.

## 8.4 Schéma pneumatického obvodu

Navržené schéma pneumatického obvodu je na Obr. 36. Z obrázku je vidět první větve v levé části, která je záměrně znázorněna pouze jednou a v pravé části druhá větve. Celé schéma je uvedeno v příloze Příloha 2. Prvky pneumatického obvodu jsou označeny zkratkami a všechny jsou přehledně uvedeny v tabulce Tabulka 5 pod schématem, kde totožné prvky jsou značeny stejnou zkratkou, pouze rozváděče jsou záměrně od sebe číselně odlišeny. Uvedená množství pro nástrčná šroubení jsou odhadnuta, výrobce zasílá balení po 10ks. Písmeny malé *a* a malé *b* jsou označeny polohy rozváděčů. Ve schématu nejsou pro přehlednost znázorněna šroubení. Zkratkami 1S3 je označena výchozí poloha 3. PM válce a zkratkou 2S3 nastavitelná poloha pomocí vnitřního odměřování.

Realizované a odzkoušené schéma na zkušebním stole od firmy SMC je uvedeno v příloze Příloha 1. Vyzkoušen byl pouze princip, použité pneumatické prvky při realizaci mají jiné parametry než prvky zvolené v zařízení.





Obr. 36 – Schéma pneumatického obvodu

Tabulka 5 – Seznam použitých prvků

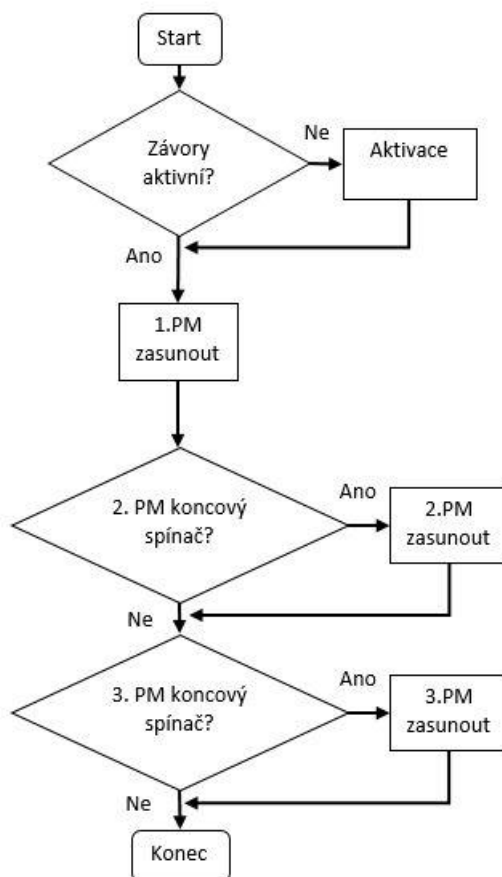
Zkratka	Název	Označení	Množství
1. PM	Pneumatický válec	ADN – 40 - 30	2
2. PM	Pneumatický válec	DSNU – 25 - 200	2
3. PM	Pneumatický válec	DNCI – 40 - 700	1
1V, 2V, 3V	Rozváděč	VUVG – BK14 – B52 – T – F – 1R8L – S	5
1Z	Škrtící ventil	GRLA – 1/8 – QS – 6 – D	4
2Z	Škrtící ventil	GRLA – 1/8 – QS – 8 – D	1
1R	Redukční ventil	MSB4 – FRC	2
1PR	Přesný redukční ventil	LRPS – 1/4 - 10	1
	Nástrčné šroubení	QSM – G1/8 – 6	10
	Nástrčné šroubení	QSL – G1/8 – 8	5
1S3, 2S3	Nastavitelné polohy		1
1S2, 2S2	Koncový snímač	SMT-8M-A-PS-24V-E-2,5-OE	8

## 9. Řízení zařízení

Navrhované zařízení obsahuje mnoho prvků, které je zapotřebí řídit a nastavit jejich funkci, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku.

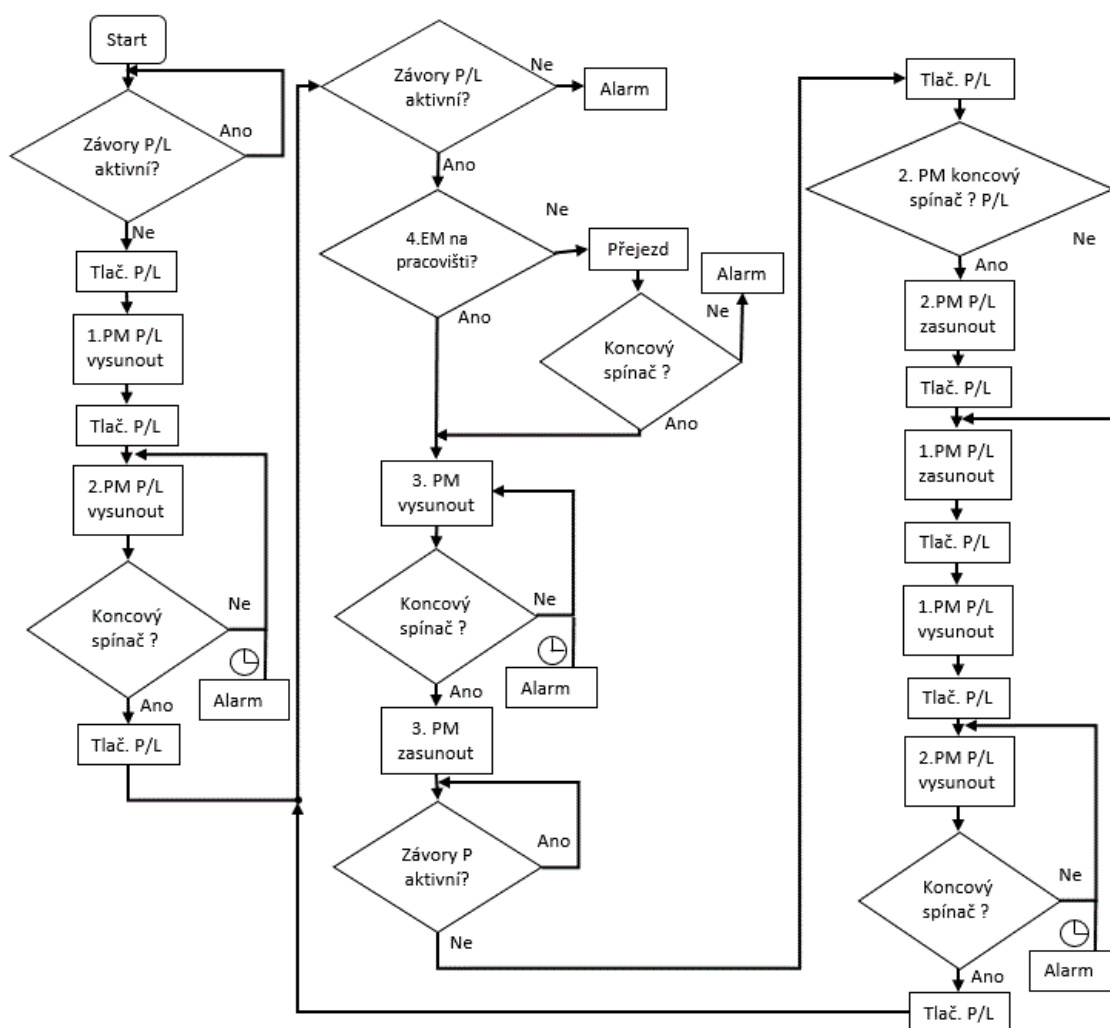
### 9.1 Vývojový diagram

Vývojový diagram slouží ke grafickému znázornění jednotlivých kroků systému tak, jak jdou během procesu za sebou. Nejprve je nutné sestavit diagram pro prvotní spuštění zařízení, který je na Obr. 37. Pneumatické válce a elektropohon najedou do referenčních pozic a jsou připraveny na první pracovní cyklus.



Obr. 37 – Spouštěcí cyklus

Hlavní vývojový diagram je na Obr. 38. Zkratka P/L uvedená za tlačítky, motory nebo závory značí pravé, či levé pracoviště, na kterém se operátor nachází v závislosti na právě probíhající operaci. V některých částech u rozhodovacích funkcí je uveden symbol hodin, značící výpis chybové hlášky a spuštění alarmu, nedojede-li pohon na koncový spínač za předem stanovený čas. V levém sloupci diagramu probíhá výroba prvního kusu po spuštění. Prostřední sloupec symbolizuje přestavení elektromechanického pohonu a lisování pomocí 3. PM. Pravý sloupec značí již výrobu dalších dílů a je zacyklený s prostředním sloupcem, dokud nedojde k vypnutí zařízení.

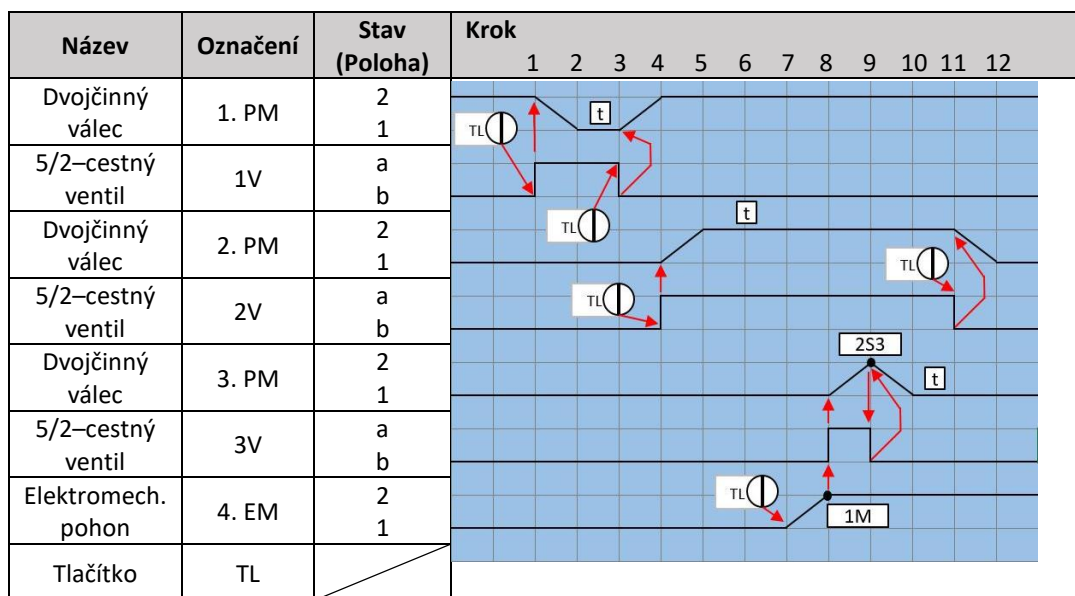


Obr. 38 – Vývojový diagram

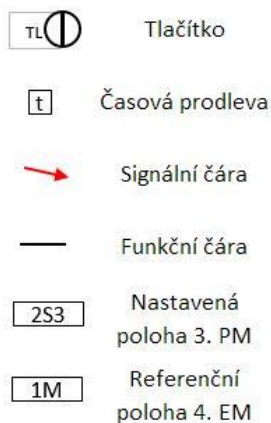
## 9.2 Stavový diagram

Stavový diagram je plošným diagramem popisujícím sled stavů a kroků během procesu a jejich logické souvislosti. Na vodorovné ose je čas symbolizující po sobě jdoucí kroky, na svislé ose je stav, např. poloha (vysunutý nebo zasunutý válec, poloha ventilu). Průběhy stavů jsou značeny funkčními čarami, které jsou zobrazeny černě. Signální čáry (označeny červeně) značí funkční vazbu mezi jednotlivými prvky. Stavový diagram pro zařízení je na Obr. 39. Legenda použitých symbolů je na Obr. 40.

V počáteční poloze je pneumatický válec 1. PM vysunut, 2. PM a 3. PM zasunutý. Symbolem kružnice s čarou a zkratkou TL je v diagramu značeno tlačítko. Zkratky jednotlivých prvků (motorů a ventilů) jsou uvedeny ve schématu pneumatického obvodu, pouze zkratka 1M se v něm nevyskytuje a značí referenční pozici elektromechanického pohonu. Slovní popis dvou prvních kroků ve stavovém diagramu: Stisknutím tlačítka se přestaví ventil 1V, jehož přestavením dochází k přivedení vzduchu na opačnou stranu válce a k jeho zasouvání.



Obr. 39 – Stavový diagram



Obr. 40 – Legenda stavového diagramu

## 10. Závěr

Úkolem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat zařízení pro polstrování loketních opěr automobilu, které výrazně sníží časovou náročnost, fyzickou námahu a tím ušetří pracovní sílu, což se v dlouhodobém období projeví ušetřením finančních nákladů. Takovéto zařízení se má skládat z dvou nakládacích a jednoho lisovacího pracoviště. Doba jednoho cyklu má být přibližně 25 s.

V rešeršní části je nejdříve popsán současný stav problematiky polstrování a pneumatické prvky a obvody, které jsou použity pro realizaci zařízení.

Poté jsou navržena možná řešení takového zařízení a zhodnocena na základě nároků, které musí splňovat, které jsou: zaručení správné pozice potahu vůči čepu, správné umístění švů a eliminace tření potahu. Těchto parametrů bylo dosaženo zvolením koncepčního řešení s ocelovými tyčemi, na základě kterého vznikl funkční prototyp zařízení. Z prototypu jsou dále odvozeny konstrukční varianty.

První konstrukční varianta se skládá z dvou nakládacích a jednoho lisovacího pracoviště. Nakládací pracoviště jsou spojena pomocí hliníkové desky a přesouvají se pod lisovacím pracovištěm. Z této varianty je odvozena druhá konstrukční varianta, ve které je lisovací zařízení kombinováno s nakládacími pomocí elektromechanického pohonu, kterým přejíždí mezi pracovišti. Druhá konstrukční varianta má menší rozměry a obsluha nemusí překonávat velké vzdálenosti, jako u varianty první. Z těchto důvodů je realizována druhá varianta.

Konstrukce zařízení je složena z těchto částí: ocelové tyče, zakládací přípravek, lisovací zařízení a rám. Ocelové tyče jsou čtyři a jsou určeny k nasazení potahu. Jedna z tyčí je umístěna na valivém vedení a je pohyblivá pomocí pneumatického válce, její zasunutí umožňuje snadnější nasazení potahu. Zakládací přípravek slouží k založení pěnové části opěrky. Přípravek je z hliníkových profilů, mezi kterými jsou umístěny silonové válečky kopírující tvar pěnové části. Také je umístěn na valivém vedením a jeho zasunutím pomocí pneumatického válce je umožněno nasadit potah a vyjmout hotový výrobek. Lisovací zařízení se skládá z elektromechanického pohonu, který umožňuje přesun ve vodorovné ose a z pneumatického válce s vnitřním odměřováním pro nastavení potřebné polohy, který je určen k samotnému lisování. Rám zařízení je vytvořen z hliníkových profilů.

V kapitole popisující návrh pneumatického obvodu je sestrojen tzv. taktovací diagram, ve kterém jsou znázorněny potřebné pohyby pneumatických válců a jejich časové rozložení, kde navržené časy jsou: takt time (doba taktu) 20 s a cycle time (doba jednoho cyklu) 22 s, ve kterých jsou ponechány časové rezervy pro zásah obsluhy. Dále jsou pomocí výpočtů kontrolovány pneumatické válce navržené v konstrukci, poté jsou specifikovány jednotlivé pneumatické prvky a dle nich je sestrojen pneumatický obvod, jehož funkčnost byla reálně odzkoušena.

Zařízení obsahuje mnoho prvků jejichž funkci je třeba synchronizovat a řídit, proto jsou v poslední kapitole sestrojeny diagramy znázorňující chování zařízení během

pracovního cyklu. Vývojový diagram znázorňuje graficky jednotlivé kroky, jak jdou za sebou a lze podle něj naprogramovat PLC. Stavový diagram je diagram dávající do souvislosti jednotlivé kroky, což umožňuje snadnější představu vzájemného fungování prvků a motorů pneumatického obvodu.

Navržené montážní zařízení pro polstrování loketních opěr splňuje všechny parametry stanovené zákazníkem. Jeho zařazením do výrobního procesu je možno polstrovat pouze na jednom stanovišti, nikoliv na obou linkách, jak tomu bylo doposud. Zařízení obsahuje dvě nakládací a jedno lisovací pracoviště. Při dimenzování pneumatických prvků a motorů je ponechána určitá rezerva umožňující snížit čas vysouvání/zasouvání válců a tím snížit celkový takt time. Vzhledem k použití pneumatického válce s vnitřním odměřováním je možno navržené zařízení použít pro různé druhy loketních opěrek. Zařízení je realizováno firmou JIMALU s. r. o.



Obr. 41 – Montážní zařízení pro polstrování loketních opěr

## 11. Seznamy

### 11.1 Seznam použité literatury

- [1] *Syndrom Karpálního tunelu* [online], poslední aktualizace 19. 9. 2016 [cit. 31. 01. 2017], Wikipedie. Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Syndrom\\_karp%C3%A1ln%C3%ADho\\_tunelu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Syndrom_karp%C3%A1ln%C3%ADho_tunelu)
- [2] CERHA, Josef. *Hydraulické a pneumatické mechanismy I*. Vyd. 3., přeprac. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, 318 s. ISBN 978-80-7494-294-5
- [3] KOPÁČEK Jaroslav. *PNEUMATICKÉ MECHANISMY, D1. Pneumatické prvky a systémy*. Vyd. 2., přeprac. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 267s. ISBN 978-80-248-0879-6
- [4] Kolektiv autorů. *SMC training, Stlačený vzduch a jeho využití*. Vyd. 3.
- [5] Hiwin, *lineární vedení*. [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni>
- [6] Hiwin, *kuličková pouzdra a vodící tyče*. [online]. [cit 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce>
- [7] Festo, *pneumatické pohony*. [online]. [cit 2017-03-28]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_010000](https://www.festo.com/cat/cs/products_010000)
- [8] Festo, *elektromechanické pohony*. [online]. [cit 2017-03-28]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_011100](https://www.festo.com/cat/cs/products_011100)
- [9] Alutec K&K, *hliníkové profily modul 45*. [online]. [cit 2017-03-28]. Dostupné z: <http://katalogalutecck.aspone.cz/#>
- [10] Igus, *energetický řetěz*. [online]. [cit 2017-03-30]. Dostupné z: <http://www.igus-cad.com/>
- [11] Rittal, *kompaktní rozváděče*. [online]. [cit 2017-04-04]. Dostupné z: [https://www.rittal.com/cz\\_cs/content/cs/produkte/schaltschraenke/schaltschraenke.jsp](https://www.rittal.com/cz_cs/content/cs/produkte/schaltschraenke/schaltschraenke.jsp)
- [12] Banner, *low-profile safety light curtains*. [online]. [cit 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/us/en/products/machine-safety/safety-light-curtains/low-profile-safety-light-curtains.html#gs.0K1AbXk>
- [13] Festo, *pneumatická spojovací technika*. [online]. [cit 2017-05-07]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_071000](https://www.festo.com/cat/cs/products_071000)
- [14] Festo, *ventily*. [online]. [cit 2017-05-07]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_020000](https://www.festo.com/cat/cs/products_020000)
- [15] Festo, *úprava stlačeného vzduchu*. [online]. [cit 2017-05-07]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_030000](https://www.festo.com/cat/cs/products_030000)
- [16] Festo, *čidla*. [online]. [cit 2017-05-07]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cat/cs/products\\_050000](https://www.festo.com/cat/cs/products_050000)

## 11.2 Seznam obrázků

Obr. 1 - Látkový potah.....	11
Obr. 2 - Pěnové části .....	11
Obr. 3 – Celkový výrobní proces .....	12
Obr. 4 - Současné ruční polstrování .....	13
Obr. 5 – Pneumatický obvod s dvojjinným motorem [3] .....	14
Obr. 6 – Pístnicový a bezpístnicový válec [4] .....	15
Obr. 7 – Rozdělení ventilů podle funkce [4].....	15
Obr. 8 – Symbol zpětného ventilu [4] .....	16
Obr. 9 – Symbol škrtícího ventilu se zpětným ventilem [4] .....	16
Obr. 10 – Modulární jednotka s redukčním ventilem [4] .....	17
Obr. 11 – Pěticestný, dvoupolohový rozváděč [4] .....	17
Obr. 12 – Pozice čepu vůči jeho otvoru .....	18
Obr. 13 – Stlačení pěny .....	18
Obr. 14 – Nasazení potahu.....	18
Obr. 15 - Řešení s plechovým košem .....	19
Obr. 16 – Řešení s ocelovými tyčemi .....	19
Obr. 17 – Ukázka prototypu .....	19
Obr. 18 – První fáze .....	20
Obr. 19 - Druhá fáze .....	20
Obr. 20 – Třetí fáze.....	20
Obr. 21 – Čtvrtá fáze .....	20
Obr. 22 – Prototyp zařízení .....	21
Obr. 23 – První varianta .....	22
Obr. 24 – Druhá varianta.....	23
Obr. 25 – Ocelové tyče .....	24
Obr. 26 – Pohyblivá tyč .....	24
Obr. 27 – Zakládací přípravek – pohled 1 .....	25
Obr. 28 – Zakládací přípravek – pohled 2 .....	25
Obr. 29 – Lisovací zařízení.....	26
Obr. 30 – Celková sestava .....	27
Obr. 31 – Celková sestava – zadní pohled .....	28
Obr. 32 – Taktovací diagram .....	29
Obr. 33 – Výpočet sil 1. PM.....	31
Obr. 34 – Výpočet sil 2. PM.....	33
Obr. 35 – Rozváděč Festo [15] .....	37
Obr. 36 – Schéma pneumatického obvodu.....	41
Obr. 37 – Spouštěcí cyklus .....	42
Obr. 38 – Vývojový diagram .....	43
Obr. 39 – Stavový diagram .....	44
Obr. 40 – Legenda stavového diagramu .....	44
Obr. 41 – Montážní zařízení pro polstrování loketních opěr .....	46



### 11.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Popis sekvencí.....	30
Tabulka 2 – Spotřeba vzduchu dvojčinných válců v l/min při tlaku $p = 0,5$ MPa [4] .	33
Tabulka 3 – Poměrný průřez $\sum S$ pro tlak 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1$ MPa [4] .....	35
Tabulka 4 – Poměrné průřezy jednotlivých prvků [4] .....	36
Tabulka 5 – Seznam použitých prvků.....	41

### 11.4 Seznam grafů

Graf 1 – Závislost rychlosti na zdvihu – 1. PM.....	31
Graf 2 – Závislost rychlosti na čase – 1. PM.....	31
Graf 3 – Závislost rychlosti na zdvihu – 2. PM.....	32
Graf 4 – Závislost rychlosti na čase – 2. PM.....	32
Graf 5 – Opravný koeficient $c_f$ pro odlišné tlakové poměry [4] .....	36
Graf 6 – Charakteristika redukčního ventilu [15].....	37

### 11.5 Seznam použitého softwaru

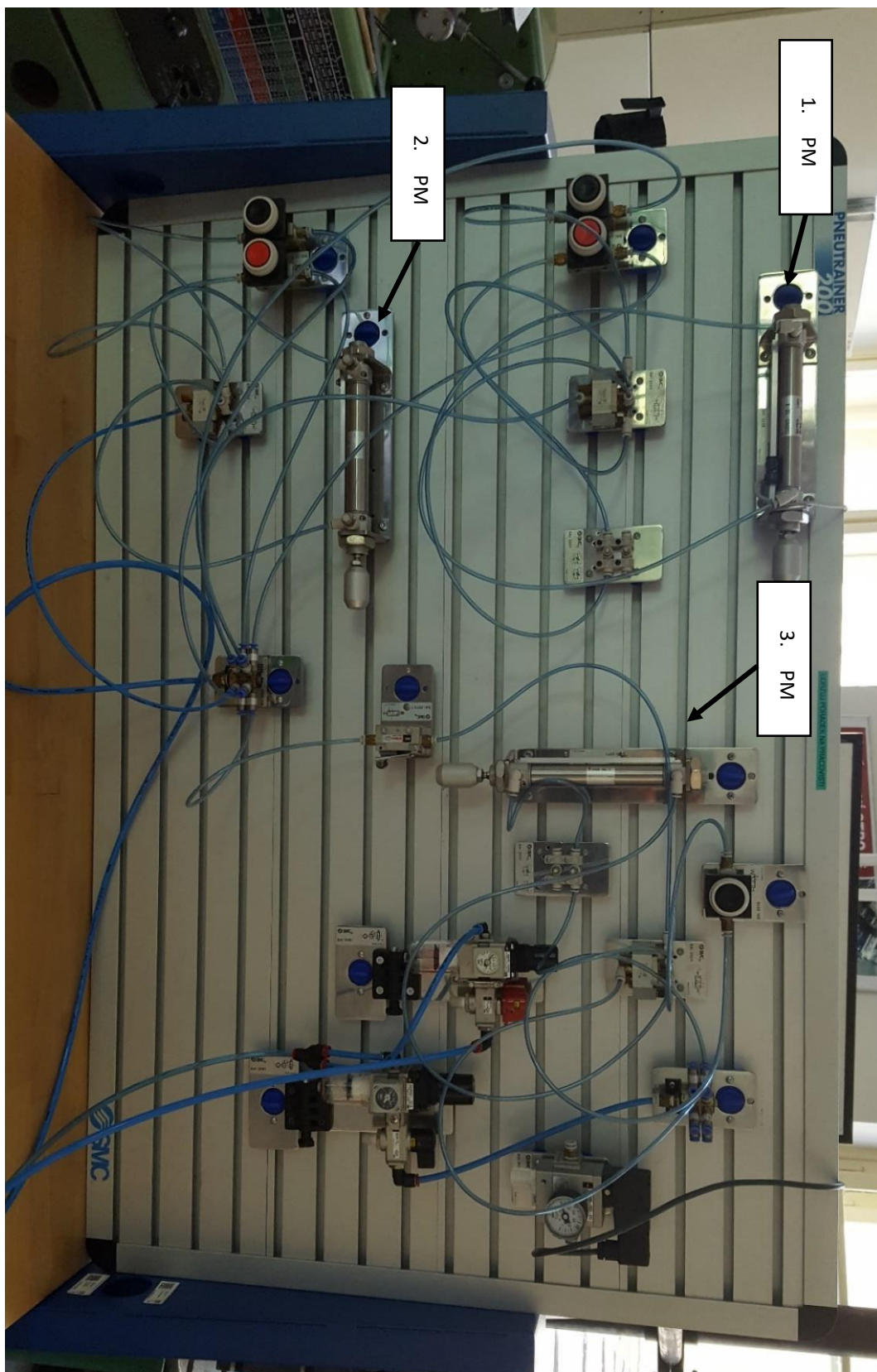
- Microsoft Office 365
- Solid Edge ST9
- Keyshot 6 demo
- Festo FluidSim 5 demo

### 11.6 Seznam příloh

- Textové
  - Příloha č. 1 – Realizace pneumatického obvodu
  - Příloha č. 2 – Celé schéma pneumatického obvodu
- Výkresová dokumentace
  - Výkres sestavy – 50.00.62 – S
  - Výkres základní desky pro ocelové tyče – 50.00.62 – S2 – 01
  - Výkres kostky pod hliníkový profil – 50.00.62 – S3 - 08
- Elektronická příloha – CD
  - 3D model - .pdf, .asm
  - Výkresová dokumentace ČVUT - .pdf
  - Schéma pneumatického obvodu – .gif, .ct
  - Realizované schéma pneumatického obvodu - .jpg

## Přílohy

### Příloha č. 1 – Realizace pneumatického obvodu



Příloha č. 2 – Celé schéma pneumatického obvodu

